Michał Burzyński, Krzysztof Malaga
Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu

MECHANIZM KREATYWNEJ DESTRUKCJI W NEOSCHUMPETEROWSKICH MODELACH WZROSTU

Streszczenie: Celem artykułu jest identyfikacja mechanizmu procesu kreatywnej destrukcji w neoschumpeterowskich modelach endogenicznego wzrostu gospodarczego, ocena doboru narzędzi wykorzystanych do jego opisu oraz określenie ich poprawności w kontekście realnych procesów gospodarczych. W ramach krytycznej analizy modelowego ujęcia procesu kreatywnej destrukcji rozpatrzono także alternatywny sposób myślenia o innowacyjności, określany w literaturze jako proces kreatywnej konstrukcji. Rozważania są prowadzone na podstawie modeli wzrostu: Aghiona-Howitta [1992 i 1998], Aghiona [2004] oraz Aghiona-Harrisa-Howitta-Vickersa [2001].

Na tym tle przedstawiono sugestie dotyczące pożądanych rozszerzeń tej klasy modeli wzrostu z generowanymi losowo innowacjami. Przedstawiono również wyniki symulacji na podstawie zmodyfikowanego modelu wzrostu Aghiona-Howitta [1998]. Za najważniejszy kierunek badań uznano konstrukcję ogólniejszego modelu wzrostu, z rynkiem kapitałowym jako istotnym sektorem gospodarki, który decyduje o finansowaniu innowacji i postępie technologicznym. Zasady konstrukcji tego typu modelu wzrostu powinny uwzględniać dynamiczne ujęcie oczekiwanej harmonii między realną i nominalną sferą gospodarki

Słowa kluczowe: wzrost gospodarczy, kreatywna destrukcja, kreatywna konstrukcja, neoschumpeterowskie modele wzrostu, innowacyjność, postęp technologiczny, social learning, dyfuzja technologii.

Wprowadzenie

Na początku XX wieku Joseph A. Schumpeter przedstawił teorię gospodarki, w której wzrost gospodarczy opiera się zasadniczo na nieustannym wyścigu technologicznym. W latach dziewięćdziesiątych XX wieku powstały pierwsze modele wzrostu, nawiązujące do idei J.A. Schumpetera, które są nazywane w literaturze ekonomicznej neoschumpeterowskimi modelami endogenicznego wzrostu gospodarczego.

W artykule podjęto próbę identyfikacji procesu kreatywnej destrukcji w neoschumpeterowskich modelach wzrostu gospodarczego, a także oceny doboru narzędzi wykorzystanych do jego opisu oraz określenia ich poprawności w kontekście realnych procesów gospodarczych. W ramach krytycznej analizy modelowego ujęcia procesu kreatywnej destrukcji rozpatrzono także alternatywny sposób myślenia o innowacyjności, określany w literaturze jako proces kreatywnej konstrukcji. Układem odniesienia dla prowadzonych w artykule rozważań jest tak zwany podstawowy model wzrostu Aghiona-Howitta [1992]. W artykule omówiono także różne modyfikacje modelu podstawowego, uwzględniające rolę przełomowych innowacji (*General Purpose Technologies* – GPT), akumulacji kapitału fizycznego oraz konkurencji na rynku produktu pośredniego.

Na tym tle zasugerowano rozszerzenia, które powinny zostać dokonane, aby opis rzeczywistych procesów gospodarczych w modelach wzrostu z generowanymi losowo innowacjami był bardziej wiarygodny.

1. Mechanizm kreatywnej destrukcji

Pojęcie kreatywnej destrukcji wywodzi się z teorii gospodarki J.A. Schumpetera, której podstawowe założenia i mechanizmy zostały opublikowane w 1920 roku [Schumpeter 1960]. Ten wybitny austriacki ekonomista na podstawie obserwacji gwałtownych przemian gospodarczych uznał, że postęp technologiczny jest fundamentalnym czynnikiem wzrostu gospodarczego w długim okresie, a także przyczyną cykli koniunkturalnych.

Kreatywna destrukcja oznacza proces krótkookresowego spadku produkcji globalnej, wywołany eliminacją z rynku nieefektywnych podmiotów gospodarczych. W konsekwencji przedsiębiorstwa posiadające nowoczesną technologię produkcji osiągają większy udział w rynku. Ten w istocie drastyczny proces jest powodowany niespodziewanym, ale skutecznym wdrożeniem innowacji, zmieniającym warunki gospodarowania wszystkich podmiotów na rynku.

Bezpośrednim skutkiem wprowadzenia innowacji jest recesja będąca fazą destrukcji. Jednakże w dłuższym okresie, w wyniku wzrostu możliwości produkcyjnych przedsiębiorstw wdrażających nowe technologie, następuje wzrost produktywności czynników produkcji oraz powstawanie nowych, jakościowo lepszych produktów. Prowadzi to do zwiększenia tempa wzrostu gospodarczego.

Poglądy J.A. Schumpetera na temat roli postępu technologicznego zostały wykorzystane przez P. Aghiona i P. Howitta w konstruowanych przez nich stochastycznych modelach endogenicznego wzrostu gospodarczego z mechanizmem kreatywnej destrukcji.

Jednym z pierwszych modeli wzrostu, w którym uwzględniono ideę kreatywnej destrukcji, jest tzw. podstawowy model wzrostu Aghiona-Howitta [1992]. Zasadniczą cechą tego modelu wzrostu jest to, że dynamika gospodarki jest konsekwencją procesów zachodzących w skali mikroekonomicznej. Każde przedsiębiorstwo działające w ramach rozpatrywanej gospodarki dąży nieustannie do maksymalizacji zysku ze swojej działalności. Jednakże zysk ten zależy od decyzji danego przedsiębiorstwa w sprawie inwestycji w nową technologię oraz od skutecznego wdrożenia przez nie innowacji, będącego zdarzeniem losowym.

W modelu wzrostu przyjęto założenie o braku możliwości arbitrażu na rynku nowych technologii. Oznacza to, że przedsiębiorstwo podejmie decyzję o zaangażowaniu się w prace B+R tylko wtedy, gdy oczekiwane zdyskontowane zyski – generowane w wyniku skutecznego wdrożenia innowacji – przewyższą ich koszty. Warunek jest spełniony, gdy oczekiwany zwrot z zaangażowania siły roboczej w sektorze B+R jest wyższy od oczekiwanego zwrotu z zaangażowania jej w sektorze wytwarzającym dobro finalne. Dlatego też przedsiębiorstwo, które aktualnie dysponuje najbardziej zaawansowaną technologią, nie jest skłonne do prowadzenia prac B+R (proces ten znany jest powszechnie w literaturze ekonomicznej jako tzw. efekt K.J. Arrowa).

Przedsiębiorstwo posiadające w danym momencie najbardziej zaawansowaną technologię ma przewagę konkurencyjną nad pozostałymi uczestnikami rynku. W efekcie staje się ono samodzielnym producentem dobra finalnego w swoim sektorze, osiągając w ten sposób pozycję monopolisty na rynku danego produktu. Jest ono jedynym beneficjentem nadzwyczajnych zysków, co przyczynia się do pogorszenia sytuacji rynkowej jego konkurentów. Każde wdrożenie innowacji (nowe produkty lub nowe technologie produkcji) ma negatywny, krótkookresowy wpływ na gospodarkę. W krótkim okresie powoduje utratę rentowności przez przedsiębiorstwa dysponujące najmniej produktywną technologią i przyczynia się do destrukcji mocy produkcyjnych gospodarki.

Model wzrostu Aghiona-Howitta [1992] odwołuje się *explicite* do idei schumpeterowskich fal kreatywnej destrukcji będących skutkiem niespodziewanych i drastycznych innowacji. Jest to stochastyczny model wzrostu, w którym innowacyjność ma charakter losowy. Jednakże jedynym, a zarazem najważniejszym czynnikiem niepewności, z którym stykają się przedsiębiorstwa, jest okres trwania dominacji monopolisty na danym rynku. Wraz z wdrożeniem skutecznej innowacji dotychczasowy lider zostaje pozbawiony nadzwyczajnych zysków monopolistycznych. Aby odzyskać utraconą pozycję, musi podjąć działalność w sektorze B+R.

W modelu wzrostu Aghiona-Howitta [1992] pojawianie się innowacji jest opisywane za pomocą dodatkowego czynnika dyskonta, występującego w równaniu arbitrażowym, którym jest tak zwana stopa kreatywnej destrukcji będąca parametrem rozkładu Poissona, służącego do opisu wdrożeń nowych innowacji w gospodarce. Im wyższa jest wartość tego parametru, tym niższe są oczekiwane przez przedsiębiorstwa zdyskontowane zyski będące wynikiem działalności B+R. Cechą charakterystyczną modelu wzrostu Aghiona-Howitta [1992] jest uwzględnienie mechanizmu kreatywnej destrukcji bez odwoływania się do teorii gospodarki J.A. Schumpetera.

P. Aghion i P. Howitt zakwestionowali podstawowe założenia przyjmowane przez austriackiego ekonomistę, w szczególności te, które odnoszą się do: definicji stanu równowagi, typologii zasobu siły roboczej oraz mechanizmu załamania na rynku produkcji. Zaproponowali oni wiarygodny i elastyczny sposób opisu losowego mechanizmu generowania innowacji w warunkach gospodarki opartej na konkurencji technologicznej oraz na konkurencji niedoskonałej, występującej na rynku produktu.

Kontrowersje mogą budzić założenia, przyjęte przez P. Aghiona i P. Howitta, w odniesieniu do rynku produktów pośrednich, który jest czystym monopolem, gdyż według nich jedynie przedsiębiorstwo o największej przewadze konkurencyjnej jest w stanie generować zysk nadzwyczajny. Uproszczenie to pozwala uzyskiwać satysfakcjonujące wyniki modelowe, jednak jest sprzeczne z wynikami obserwacji realnych procesów gospodarczych. Tylko w bardzo nielicznych sektorach postęp technologiczny lub przewaga komparatywna nad konkurentami stanowi o uzyskiwaniu bądź nieuzyskiwaniu zysków z działalności gospodarczej. Dlatego też należałoby wziąć pod uwagę zarówno sytuacje drastyczne, które odnoszą się do sektorów zmonopolizowanych, jak i sytuacje pośrednie, gdy w danym sektorze działa wiele podmiotów gospodarczych prowadzących działalność produkcyjną i B+R.

Istotną cechą modelu jest koncentracja uwagi jedynie na długookresowych czynnikach wzrostu. W długim okresie przedsiębiorstwa decydują się na wdrożenie inwestycji w nowe technologie oraz na zmianę technologii produkcji. Horyzont planowania przedsiębiorstw przekłada się na rodzaje czynników, które są brane pod uwagę jako determinanty wzrostu. Dlatego w modelu Aghiona-Howitta [1992] pominięto krótkookresowe czynniki wzrostu i skupiono uwagę na czynnikach długookresowych[1]. Jest to jeden z najważniejszych zarzutów do modelu Aghiona-Howitta [1992]. Ponadto praktyka gospodarowania wskazuje na inny, nie mniej istotny rodzaj innowacji pojawiających się w gospodarce – innowacje stopniowe (*step-by-step innovations*).

[1] W modelu wzrostu P. Aghiona [2004], będącym modyfikacją modelu wzrostu Aghiona-Howitta [1992], uwzględniono neoklasyczny mechanizm akumulacji kapitału fizycznego, współistniejący z mechanizmem kreatywnej destrukcji. W efekcie stopa wzrostu w stanie równowagi zależy od zasobu kapitału fizycznego oraz od oczekiwanych, zdyskontowanych zysków. Na tempo wzrostu ma także wpływ proces dyfuzji technologii, który przyspiesza tempo wzrostu. Model ten nie wnosi nowej jakości do analitycznego przedstawienia procesu kreatywnej destrukcji i z tego powodu nie zostanie tutaj dokładniej omówiony.

Wymienione dwa najważniejsze zastrzeżenia formułowane w odniesieniu do sposobu modelowania postępu technologicznego, zaproponowanego w modelu Aghiona-Howitta [1992] nie przekreślają poprawności analizowanego modelu. Warto jednak rozpatrzyć inne sposoby uwzględniania procesu kreatywnej destrukcji w modelach wzrostu gospodarczego.

2. Model wzrostu Aghiona-Howitta [1998] uwzględniający przełomowe innowacje

Pierwsza z propozycji odwołuje się do wizji gospodarki, w której o przewadze konkurencyjnej przedsiębiorstw decydują tak zwane technologie powszechne, które wywierają wpływ nie tylko na sektor, z którego się wywodzą, lecz także na całą gospodarkę. Jest nią model wzrostu oparty na mechanizmie kreatywnej destrukcji, opisujący dyfuzję GPT w sektorach gospodarki przez naukę społeczną (*social learning*) [Aghion i Howitt 1998].

2.1. Parametry

α – wskaźnik substytucji dóbr pośrednich,
$\gamma > 1$ – miara poziomu technologii w innowacyjnych sektorach,
k – progowa liczba przedsiębiorstw, która jest obserwowana przez przedsiębiorstwa należące do sektora znajdującego się w stanie 0, umożliwiająca ich przejście do stanu 1,
m – liczba wszystkich „podobnie ulokowanych” przedsiębiorstw, które mogą być naśladowane przez przedsiębiorstwo znajdujące się w stanie 0,
λ_0 – parametr rozkładu Poissona, opisujący częstość niezależnego odkrycia schematu eksperymentalnego przez sektor,
λ_1 – parametr rozkładu Poissona, opisujący skuteczne wykorzystanie schematu eksperymentalnego w procesie produkcyjnym,
n – zatrudnienie siły roboczej, niezbędne do przejścia sektora ze stanu 1 do stanu 2,
N – liczba pracowników zatrudniona przez eksperymentujące przedsiębiorstwo, niepracujących w produkcji,
L – zasób siły roboczej.

2.2. Zmienne

$A(i)$ – technologia w sektorze i-tym,
n_0 – frakcja sektorów w stanie 0 bez odkrytego schematu eksperymentalnego,

n_1 – frakcja sektorów w stanie 1, posiadających schemat eksperymentalny, bez koncepcji jego implementacji,

n_2 – frakcja sektorów w stanie 2, dysponujących schematem eksperymentalnym, skutecznie wdrożonym do procesu produkcji,

$\varphi(.,.,.)$ – zmienna losowa o rozkładzie dwumianowym opisująca sukces przedsiębiorstwa w stanie 0, wynikający z naśladownictwa przedsiębiorstw ze stanu 2,

x_0 – strumień popytu na siłę roboczą sektora korzystającego ze starej GPT,

x_N – strumień popytu na siłę roboczą sektora korzystającego z nowej GPT,

w – realna płaca.

2.3. Układ założeń

W gospodarce występuje nieskończona liczba sektorów (zawarta na jednostkowym odcinku), z których każdy wytwarza właściwe mu dobro pośrednie, konieczne do wdrożenia GPT. Przedmiotem naszego zainteresowania jest cykliczność gospodarki, będąca skutkiem pojawienia się pojedynczej GPT. Prawdopodobieństwo zajścia takiego zdarzenia μ jest bardzo małe, dlatego zakładamy, że wszystkie sektory w gospodarce zdążą wdrożyć obecną technologię przed pojawieniem się innowacji. Poziom badań w danym sektorze zależy bezpośrednio od jego wyposażenia w specjalistyczną siłę roboczą, zdolną do prowadzenia prac B+R. Dlatego dynamika modelu wzrostu jest rezultatem wpływu nauki społecznej na stopę wypłaty z procesu eksperymentowania.

Wielkość zagregowanej produkcji w gospodarce, wytwarzaną przez siłę roboczą, opisuje funkcja produkcji:

$$Y = \left\{ \int_0^1 A(i)^{\alpha} \, x(i)^{\alpha} \, di \right\}^{1/\alpha}, \tag{1}$$

gdzie:

$A(i) = 1$ w sektorach, w których wykorzystuje się starą GPT,

$A(i) = \gamma$ w sektorach, w których dokonano skutecznego wdrożenia nowej GPT.

Przeprowadzenie skutecznej innowacji w przedsiębiorstwie należącym do dowolnego sektora wymaga zaistnienia trzech przełomowych stanów: odkrycia nowej GPT (stan 0), stworzenie schematu eksperymentalnego dla technologii (stan 1) i wykorzystania tego schematu do określenia sposobu wdrożenia nowej GPT do celów produkcyjnych (stan 2). Frakcje sektorów z przedsiębiorstwami w kolejnych stanach są oznaczone odpowiednio jako: n_0, n_1, n_2. Na początku zakładamy, że $n_0 = 1$, $n_1 = n_2 = 0$. Dowolny sektor przejdzie ze stanu 0 do stanu 1 wtedy, gdy należące do niego przedsiębiorstwo dokona niezależnego odkrycia schematu eksperymentalnego lub nabędzie go w drodze imitacji k lub blisko ulokowanych przedsiębiorstw, które osiągnęły już stan 2. Wartość parametru rozkładu Poissona, opisującego niezależne odkrycie schematu eksperymentalnego w sektorze znajdującym się w stanie 0 wynosi λ_0.

Prawdopodobieństwo sukcesu obserwacji co najmniej k z m dostępnych firm opisuje zmienna losowa o rozkładzie dwumianowym postaci

$$\phi(m,k,n_2)=\sum_{j=k}^{m}\binom{m}{k}n_2^j(1-n_2)^{m-j}. \tag{2}$$

Warunek ten opisuje prawdopodobieństwa zaistnienia procesu *social learning.* Tym samym strumień przedsiębiorstw przechodzących ze stanu 0 do stanu 1 będzie równy $n_0\left(\lambda_0+\phi(m,k,n_2)\right)$.

Warunkiem przejścia dowolnego sektora ze stanu 1 do stanu 2 jest zatrudnienie co najmniej n jednostek siły roboczej, które w każdym okresie nie uczestniczą w produkcji dobra finalnego. Jest ona potrzebna do implementacji nowego schematu eksperymentalnego. Zdarzenie to jest opisywane za pomocą rozkładu Poissona z parametrem λ_1. Strumień sektorów przechodzących ze stanu 1 do stanu 2 jest równy $n_1\lambda_1$. Wobec powyższego możemy zapisać układ dwóch równań różniczkowych z warunkiem początkowym, który opisuje dynamikę przechodzenia przedsiębiorstw między trzema stanami innowacji

$$\dot{n}_1=\left[\lambda_0+\phi(m,k,n_2)\right](1-n_1-n_2)-\lambda_1 n_1, \tag{3}$$

$$\dot{n}_2=\lambda_1 n_1, \tag{4}$$

$$n_0\equiv 1-n_1-n_2. \tag{5}$$

Znając rozwiązanie układu równań (3)–(5), funkcję produkcji możemy zapisać w postaci:

$$Y=\left\{\int_0^{1-n_2}x_0(i)^{\alpha}\,di+\gamma^{\alpha}\int_{1-n_2}^{1}x_N(i)^{\alpha}\,di\right\}^{1/\alpha}. \tag{6}$$

Warunek bilansowy na rynku pracy ma postać

$$(1-n_2)x_0+n_2x_n+n_1N=L. \tag{7}$$

Rozwiązując zadanie maksymalizacji zysku przez przedsiębiorstwo monopolistyczne, z funkcją produkcji Cobba-Douglasa otrzymamy następujące postaci funkcji popytu na pracę:

$$x_0 = Y\left(\frac{w}{\alpha}\right)^{\frac{1}{\alpha-1}}, \tag{8}$$

$$x_N = Y\left(\frac{w}{\alpha\gamma^{\alpha}}\right)^{\frac{1}{\alpha-1}}. \tag{9}$$

Po podstawieniu (8), (9) do funkcji produkcji (6) otrzymamy

$$Y = \left(L - n_1 N\right)\left(1 - n_2 + n_2\gamma^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}\right)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}}, \tag{10}$$

skąd wynika, że wielkość produkcji globalnej zależy od wielkości przyrostu innowacji

2.4. Analiza modelu

Model wzrostu generuje cykliczny wzrost gospodarczy będący wynikiem wdrażania nowych technologii produkcji. Są to tak zwane fale schumpeterowskie, polegające na pojawianiu się cykli w trendzie dochodu globalnego będących wynikiem skutecznej implementacji powszechnych technologii GPT.

Przebieg trajektorii będących rozwiązaniami układu równań (3)–(5) jest zgodny z intuicją. Wartości zmiennej $n_2 \in [0, 1]$ kształtują się zgodnie z krzywą logistyczną. Natomiast zmienna n_1 osiąga maksimum, po czym z powrotem maleje do zera. Szybkość osiągania stabilnego stanu równowagi zależy wprost od wielkości parametru λ_0.

W przypadku funkcji produkcji Cobba-Douglasa występuje wyraźny cykl w kształtowaniu się globalnej produkcji, będący wynikiem wdrożenia GPT. Początkowo wpływ innowacji jest niewielki, a produkcja rośnie wolno, lecz systematycznie. Po pewnym okresie następuje gwałtowne załamanie, które jest następnie rekompensowane kilkakrotnie większym wzrostem globalnej produkcji. Opóźnienie w załamaniu się poziomu produkcji nie byłoby możliwe bez wpływu nauki społecznej, opisywanej funkcją $\varphi(m, k, n_2)$. Wykorzystanie stałej wartości zamiast zmiennej losowej skutkuje natychmiastowym spadkiem wartości produkcji, bez opóźnień. Wytłumaczeniem tego efektu jest fakt, że warunkiem koniecznym spadku produkcji jest pozytywny przepływ sektorów do stanu 1 (gdzie pracownicy zaangażowani są w B+R). Jednakże bez nauki społecznej przepływ ten musi być mniejszy wtedy, gdy pojawia się recesja, ponieważ wzrost poziomów n_1 i n_2 zmniejsza stopę wzrostu n_1. To z kolei zmniejsza liczbę sektorów, w których pojawiają się nowe eksperymenty n_0 i wzrasta efektywność innowatorów n_1.

Efektem nauki społecznej, przy wzroście n_2, jest zwiększenie prawdopodobieństwa skutecznego naśladownictwa, które wyrównuje spadek liczby potencjalnych naśladowców.

2.5. Analiza wrażliwości zmiennych modelu

Amplituda spadku Y zależy odwrotnie od , gdy dobra pośrednie stają się mniej substytucyjne. Amplituda spadku Y zależy odwrotnie od γ – dla dużych wartości spadek nie występuje, a większa produktywność w nowych sektorach rekompensuje spadki produkcji spowodowane eksperymentowaniem w pozostałych sektorach. Małe wartości m skutkują zrównoważonym wzrostem Y. Wzrost k powoduje większe opóźnienie recesji i zmniejsza jej amplitudę. Wzrost N prowadzi do większych spadków Y (większy zasób siły roboczej jest zatrudniony w eksperymentach nad nową technologią). Wyższa wartość parametru λ_0 skutkuje szybszym wzrostem gospodarki po upływie recesji. Wyższa wartość parametru λ_1 powoduje mniejszą amplitudę spadku Y.

2.6. Wnioski

Model wzrostu Aghiona-Howitta [1998] jest interesującym podejściem do opisu procesu wzrostu na poziomie makroekonomicznym. Uwzględniono w nim dwa rodzaje procesów zachodzących w rzeczywistej gospodarce: kreatywną destrukcję oraz naukę społeczną (*social learning*). W efekcie model generuje cykliczność produkcji globalnej.

Jakkolwiek podstawową jednostką w modelu wzrostu jest przedsiębiorstwo, to opis mechanizmów gospodarczych dotyczy całego sektora. Rozpatrywane są trzy możliwe stany sektora gospodarki, które określają dynamikę systemu. Wielkość produkcji globalnej zależy od liczby (frakcji) sektorów będących w poszczególnych stanach. Układ równań (3)–(5) określa zarówno przebieg długookresowej ścieżki wzrostu, jak i średniookresowe wahania koniunkturalne produkcji. W procesie zmian liczebności trzech frakcji sektorów występują dwa wymienione wcześniej mechanizmy gospodarcze.

Kreatywna destrukcja jest uwzględniona w rozpatrywanym modelu wzrostu jako proces stochastyczny, w którym występują zmienne losowe o rozkładzie Poissona. Wartość oczekiwana częstości przejścia danego sektora ze stanu 0 do stanu 1 jest równa λ_0. Oczekiwana częstość wdrożenia technologii w procesie produkcji w danym sektorze jest równa λ_1. Wartości parametrów są bliskie zera, co jest równoznaczne z założeniem o pełnym wdrożeniu innowacji przed pojawieniem się kolejnego odkrycia.

Schemat podejmowania decyzji jest inwestycyjnych analogiczny do tego, który występuje w modelu Aghiona-Howitta [1992]. W każdym sektorze stały zasób wyspecjalizowanej siły roboczej jest przeznaczony do przeprowadzania prac

B+R. Problemem decyzyjnym na poziomie sektora gospodarki jest alokacja zasobu produkcyjnego i wyspecjalizowanego do dwóch równoległych procesów: produkcji oraz B+R.

W centrum uwagi znajdują się makroekonomiczne skutki procesu ulepszania technologii produkcji. Wdrożenie skutecznej innowacji w sektorze, wymagające zajścia aż trzech zdarzeń, ma istotny wpływ na dynamikę całej gospodarki. Po pierwsze wpływa na wartość parametru opisującego produktywność danego sektora, a co zatem idzie ma wpływ na średni poziom technologii całej gospodarki, zwiększając możliwości produkcyjne posiadanych zasobów. Po drugie wprowadza ciągłe zmiany w popycie na siłę roboczą, charakteryzującą się określonymi umiejętnościami przed i po wdrożeniu innowacji w sektorach gospodarczych. Wreszcie większa szybkość procesu kreatywnej destrukcji, przejawiająca się w wyższych wartościach parametrów λ_0 i λ_1, przyspiesza proces dostosowania się gospodarki do nowej GPT oraz zmniejsza zakres recesji wywołanej innowacją.

W analizowanym modelu wzrostu uwzględniono także naukę społeczną jako rodzaj dyfuzji technologii. Z założenia dotyczy ona blisko rozmieszczonych przedsiębiorstw z dowolnego sektora. Jej beneficjentami są przedsiębiorstwa wykorzystujące przestarzałą GPT, obserwujące przedsiębiorstwa, które wdrożyły nowoczesną technologię powszechną. Proces ten ma jedynie wpływ na opracowanie przez dane przedsiębiorstwo schematu przeprowadzania eksperymentów technologicznych; co odpowiada przejściu sektora ze stanu 0 do stanu 1. S*ocial learning* występuje równolegle z procesem kreatywnej destrukcji i wpływa pozytywnie na wielkość strumienia sektorów przechodzących do stanu 1. Jest to proces opisany za pomocą skumulowanego rozkładu dwumianowego. Zdarzenie polegające na skutecznym naśladowaniu schematu eksperymentalnego zachodzi wtedy, gdy dane przedsiębiorstwo zaobserwuje co najmniej k spośród m dostępnych przedsiębiorstw, które wdrożyły nową technologię. Efektem *social learning* są opóźnione cykliczne reakcje produkcji globalnej na pojawienie się innowacji. Wdrożenie nowej technologii powszechnej nie ma wpływu na wielkość produkcji i na reakcję innych przedsiębiorstw. Jednak wraz z upływem czasu, wskutek dyfuzji technologii, inne sektory zaczynają angażować dodatkowe zasoby w sektorze B+R w celu skutecznego wdrożenia innowacji. Wtedy gospodarka znajduje się w stanie recesji, spowodowanej spadkiem globalnej produkcji produktów finalnych. Ostatecznie poprawa efektywności procesu produkcji zaczyna pobudzać gospodarkę, stymulując długotrwały i permanentny wzrost produkcji globalnej.

Bardzo duże znaczenie dla dynamiki gospodarki mają wartości parametrów rozkładu dwumianowego. Niskie wartości m skutkują niewielkim oddziaływaniem procesu nauki społecznej na gospodarkę. Wzrost zaś wartości k skutkuje dwoma następstwami: większym opóźnieniem reakcji rynku na pojawienie się

GPT (trzeba naśladować więcej podmiotów) oraz mniejszą recesją (redukcja zatrudnienia w sferze produkcji finalnej jest rozłożona w czasie).

Model wzrostu Aghiona-Howitta [1998] jest ważnym podejściem do opisu długookresowych procesów gospodarczych, prowadzących do wzrostu i wahań globalnej wielkości produkcji. Interesującym rozwiązaniem jest wykorzystanie dwóch równoległych procesów odnoszących się do zwiększania poziomu zaawansowania technologicznego sektorów. Jednak nie różnicuje się w nim sektorów pod względem łatwości naśladowania technologii konkurentów. Nie uwzględniono w nim bezpośrednich ograniczeń dyfuzji technologii ze strony regulatora rynku, który na przykład uchwala prawo patentowe chroniące własność innowatorów.

Niewątpliwą zaletą modelu jest jego prostota. Przejawia się ona w zgodnej z intuicją dynamice sektorów gospodarki oraz w nieskomplikowanym, endogenicznym mechanizmie generowania cyklicznych trajektorii produkcji. Gospodarka reaguje w sposób naturalny na pojawianie się przełomowych innowacji. Co objaśnia długookresowe wahania określane mianem cykli Kondratiewa. Kluczem do zrozumienia i poprawnego opisu wzrostu gospodarczego w długim okresie wydaje się poprawne modelowanie cyklu koniunkturalnego. W analizowanym modelu, co jest zgodne z poglądami Schumpetera, cykliczne zmiany wielkości produkcji – a nie stabilność gospodarki – są katalizatorem wzrostu gospodarczego w długim okresie.

W modelu wzrostu Aghiona-Howitta [1998] nie uwzględniono wszystkich procesów zachodzących w gospodarce. Nie umniejszając wagi wdrażania powszechnych technologii, trzeba zwrócić także uwagę na częstotliwość tego procesu. Sami autorzy modelu podkreślali niewielkie tempo pojawiania się kolejnych innowacji powszechnych, co mogłoby sugerować istnienie innych, równie istotnych procesów ekonomicznych wpływających na wzrost. W szczególności chodzi o procesy stopniowego i powolnego ulepszanie produktów, które przyczyniają się ewolucyjnie do zwiększania możliwości produkcyjnych. Kluczowymi problemami staje się określenie roli długookresowych cykli oraz krótkookresowych fluktuacji spowodowanych postępem technologicznym, a także konkurencja na rynku produktu, traktowanych jako determinanty wzrostu gospodarczego. Omawiany w dalszej części model wzrostu jest próbą rozwiązania tych problemów.

3. Model wzrostu gospodarki ze stopniowymi innowacjami

Przejdźmy do analizy bardziej zaawansowanego modelu gospodarki, uwzględniającego konkurencję na rynku produktu i zróżnicowanie postępu technologicznego [Aghion i in. 2001].

3.1. Parametry

r – stopa międzyokresowej preferencji,
α – wskaźnik substytucji produktów przedsiębiorstw z danego sektora, miara konkurencyjności na rynku produkcji,
$c_{\mathrm{A}}, c_{\mathrm{B}}$ – koszty produkcji przedsiębiorstw A, B,
$z_j = \dfrac{c_j}{c_{-j}}$ – stosunek kosztów produkcji w przedsiębiorstwie j oraz $-j$,
w – stawka płacy (jednolita w całej gospodarce),
Λ – wymagany jednostkowy nakład siły roboczej,
γ – wskaźnik zmniejszenia wymaganego nakładu siły roboczej w przypadku wdrożenia innowacji,
n – liczba kroków, o które lider sektora wyprzedza naśladowcę,
$\psi(\cdot)$ – funkcja zatrudnienia siły roboczej w B+R,
h – miara łatwości imitacji lub dyfuzji B+R,
μ_n – frakcja sektorów pozostających n kroków za liderem w stacjonarnym stanie gospodarki,
g – stopa wzrostu gospodarczego.

3.2. Zmienne

U – funkcjonał opisujący użyteczność konsumpcji,
$Q_i(t)$ – konsumpcja produkcji i-tego sektora w momencie t,
$L(t)$ – zasób siły roboczej,
$q_{\mathrm{A}_i}, q_{\mathrm{B}_i}$ – wielkości produkcji przedsiębiorstw A, B w i-tym sektorze,
$p_{\mathrm{A}_i}, p_{\mathrm{B}_i}$ – ceny produktów przedsiębiorstw A, B w i-tym sektorze,
$f(\cdot)$ – funkcja produkcji sektora gospodarki,
η_j – elastyczność popytu na produkty przedsiębiorstwa $j = A, B$,
λ_j – przychód j-tego przedsiębiorstwa,
π_j – zysk j-tego przedsiębiorstwa,
$\varphi(z, \alpha)$ – zysk firmy jako funkcja z, α,
x – prawdopodobieństwo wyprzedzenia konkurenta o jeden krok,
$x_0, x_n, \overline{x}_n$ – nakłady na B+R dla przedsiębiorstwa działającego w warunkach silnej konkurencji, będącego liderem albo naśladowcą,
$V_0, V_n, \overline{V}_n$ – oczekiwane i zdyskontowane przyszłe zyski dla przedsiębiorstwa działającego w warunkach silnej konkurencji, będącego liderem albo naśladowcą.

3.3. Układ założeń

Rozpatrujemy gospodarkę w nieskończonym horyzoncie czasu, z czasem ciągłym, w której występują: zbiór sektorów mocy *continuum* indeksowany przez $i \in [0, 1]$ oraz nieprzeliczalny zbiór konsumentów o międzyokresowej funkcji użyteczności postaci

$$U = \int_0^\infty \left\{ \int_0^1 \ln Q_i(t)\, di - L(t) \right\} e^{-rt} dt, \tag{11}$$

gdzie:

Qi(*t*) – konsumpcja produktów *i*-tego sektora gałęzi w momencie *t*,

L(*t*) – zasób pracy w momencie *t*,

r > 0 – subiektywna stopa preferencji.

W każdym sektorze *i* występują dwa przedsiębiorstwa. Procesy produkcji w poszczególnych sektorach opisuje symetryczna i dodatnio jednorodna stopnia 1 funkcja produkcji postaci:

$$f\left(q_{A_i}, q_{B_i}\right) = \left(q_{A_i}^{\alpha} + q_{B_i}^{\alpha}\right)^{1/\alpha}, \tag{12}$$

gdzie $\alpha \in (0, 1]$ jest oznaczeniem miary substytucji dwóch produktów wytwarzanych w każdym z sektorów.

Przyjęcie logarytmicznej funkcji użyteczności konsumpcji w (11) powoduje, że w równowadze konsumenci wydają takie same kwoty na dowolny koszyk Q_i. Wartość ta traktowana jest jako *numéraire*:

$$Q_i = p_{A_i} q_{A_i} + p_{B_i} q_{B_i} = 1. \tag{13}$$

Na tej podstawie można wyznaczyć funkcje popytu na produkty danego sektora

$$\begin{aligned} q_{A_i} &= \frac{p_{A_i}^{1/(\alpha-1)}}{p_{A_i}^{\alpha/(\alpha-1)} + p_{B_i}^{\alpha/(\alpha-1)}}, \\ q_{B_i} &= \frac{p_{B_i}^{1/(\alpha-1)}}{p_{A_i}^{\alpha/(\alpha-1)} + p_{B_i}^{\alpha/(\alpha-1)}}. \end{aligned} \tag{14}$$

Jedynym czynnikiem produkcji jest siła robocza, której wykorzystanie opisuje funkcja produkcji o stałych efektach skali. Ponieważ płace są dane, więc jednostkowe koszty produkcji przedsiębiorstw c_A, c_B są niezależne od wielkości produkcji. Rynek produktów danego sektora opisywany jest modelem duopolu Bertranda, który jest modelem konkurencji cenowej przedsiębiorstw.

Przychód ze sprzedaży dla przedsiębiorstwa $j \in \{A, B\}$ wynosi

$$\lambda_j = p_j q_j = \frac{p_j^{\alpha/(\alpha-1)}}{p_A^{\alpha/(\alpha-1)} + p_B^{\alpha/(\alpha-1)}}, \tag{15}$$

elastyczność cenowa popytu przyjmuje wartość

$$\eta_j = \frac{1-\alpha\lambda_j}{1-\alpha}, \tag{16}$$

stąd cena równowagi wynosi

$$p_j = \frac{\eta_j}{\eta_j - 1} c_j = \frac{1-\alpha\lambda_j}{\alpha\left(1-\lambda_j\right)} c_j, \tag{17}$$

a odpowiadający jej zysk kształtuje się na poziomie

$$\pi_j = \frac{\lambda_j}{\eta_j} = \frac{\lambda_j\left(1-\alpha\right)}{1-\alpha\lambda_j}. \tag{18}$$

Układ równań (15)–(18) opisuje przychody, ceny i zyski w stanie równowagi. Dla danego parametru α zysk każdego przedsiębiorstwa zależy od względnego kosztu produkcji: $z = \frac{c_j}{c_{-j}}$, co oznacza, że w stanie równowagi proporcjonalna zmiana kosztu produkcji skutkuje proporcjonalną zmianą cen produktów, a tym samym nie ma wpływu na przychody i zyski.

Funkcje zysku przedsiębiorstw można przedstawić jako:

$$\begin{aligned} \pi_{\mathrm{A}} &= \varphi\left(c_{\mathrm{A}} / c_{\mathrm{B}}, \alpha\right), \\ \pi_{\mathrm{B}} &= \varphi\left(c_{\mathrm{B}} / c_{\mathrm{A}}, \alpha\right). \end{aligned} \tag{19}$$

Parametr α jest miarą konkurencyjności na rynku produktów, spełniającą rolę miernika instytucjonalnych i prawnych przeszkód bezpośredniego wejścia na rynek konkurenta, wytwarzającego podobny produkt. Formalnie α jest traktowane jako rosnąca funkcja elastyczności substytucji popytu na dwa konkurencyjne produkty w danym sektorze, rosnąca funkcja elastyczności cenowej popytu zgłaszanego przez przedsiębiorstwo oraz malejąca funkcja siły rynku, mierzona udziałem zysków w wytworzonej wartości dodanej. Dla $\alpha = 0$ mamy do czynienia z minimalnym poziomem konkurencji na rynku. Natomiast gdy $\alpha = 1$, wówczas mamy do czynienia z konkurencją Bertranda między przedsiębiorstwami, która przy jednakowych kosztach jednostkowych przedsiębiorstw jest tożsama z konkurencją doskonałą.

Przedsiębiorstwa ponoszą wydatki na B+R w celu redukcji relatywnego kosztu produkcji z. Z warunku (19) wynika, że efekt redukcji kosztu zależy także od poziomu konkurencji na rynku W odniesieniu do funkcji zysku

$$\varphi\left(\frac{c_j}{c_{-j}},\alpha\right)=\varphi(z,\alpha), \tag{20}$$

przyjęto następujące założenia:

– $\forall \alpha \in (0,1)$ jest ona malejąca względem *z,* a niższy koszt jest korzystny dla producenta.
– $\varphi(z, 0) = 1/2$, jeżeli nie ma konkurencji, to zysk przedsiębiorstwa nie zależy od względnego kosztu *z*, produkcja dąży do zera, co powoduje wzrost ceny do nieskończoności, w efekcie przy znikomym koszcie przychód jest zawsze równy 1/2, co oznacza, że nawet minimalna konkurencja wywiera pozytywny wpływ na wzrost gospodarczy.
– $\forall \alpha \in (0,1)$, $z \neq 1$, $\varphi(z,\alpha)+\varphi\left(\frac{1}{z},\alpha\right)>2\varphi(1,\alpha)$, jeżeli na rynku występuje konkurencja, to całkowity zysk przedsiębiorstw danego sektora jest niższy wtedy, gdy przedsiębiorstwa mają zbliżone technologie i identyczne koszty, a nie gdy jedno z przedsiębiorstw ma przewagę w kosztach produkcji.

Koszt jednostkowy przedsiębiorstwa zależy od stopnia zaawansowania technologii. Formalnie $c_j = w\Lambda$, gdzie w oznacza jednolitą w całej gospodarce stawkę płac, a Λ oznacza poziom zatrudnienia w przedsiębiorstwie. Dla prostoty założono, że $w = 1$. Zatem każda stopniowa innowacja technologiczna powoduje spadek zatrudnienia Λ o czynnik $\gamma > 1$.

Względna przewaga kosztowa przedsiębiorstwa, wyprzedzającego konkurenta o dokładnie *n* kroków, wyraża się jako

$$z=\gamma^{-n}. \tag{21}$$

Wielkość zatrudnienia w sektorze B+R opisuje funkcja

$$\psi(x)=\frac{\beta x^2}{2}, \tag{22}$$

wypukła i rosnąca względem *x*, które oznacza prawdopodobieństwo dokonania innowacji przez lidera technologicznego. Ponadto przez *h* oznaczmy taką wartość, że $x + h$ jest prawdopodobieństwem dogonienia lidera przez naśladowcę. Przyjęto, że przy podejmowaniu strategicznych decyzji przedsiębiorstwa charakteryzują się własnością Markowa – kolejne kroki w sektorze B+R zależą tylko od obecnego poziomu technologii, a ścieżka dojścia do tego stanu jest dowolna.

Zysk przedsiębiorstwa, będącego liderem technologicznym w sektorze, które wyprzedza konkurentów o *n* kroków w momencie *t,* jest równy zdyskontowanej wartości w momencie $t + dt$, powiększonej o obecne przepływy zysków $\pi_n dt$ i pomniejszonej o obecny koszt B+R $(\beta x^2/2)dt$. Do tej wartości należy dodać oczekiwane zdyskontowane zyski wynikające ze skutecznego wdrożenia innowacji (wyprzedzenia konkurencji o jeden krok) oraz oczekiwane zdyskontowane straty, wynikające z możliwego nadrobienia dystansu technologicznego przez konkurenta. W przypadku lidera warunek ten można zapisać za pomocą uproszczonego równania Bellmana

$$rV_n = \pi_n + x_n\left(V_{n+1} - V_n\right) + \left(\overline{x}_n + h\right)\left(V_0 - V_n\right) - \frac{\beta\left(x_n\right)^2}{2}. \tag{23}$$

Analogicznie dla naśladowcy mamy

$$r\overline{V}_n = \overline{\pi}_n + x_n\left(\overline{V}_{n+1} - \overline{V}_n\right) + \left(\overline{x}_n + h\right)\left(V_0 - \overline{V}_n\right) - \frac{\beta\left(\overline{x}_n\right)^2}{2}, \tag{24}$$

a dla przedsiębiorstwa w warunkach czystej konkurencji:

$$rV_0 = \pi_0 + x_0\left(V_1 - V_0\right) + \left(x_0\right)\left(\overline{V}_1 - V_0\right) - \frac{\beta\left(x_0\right)^2}{2}. \tag{25}$$

Każde przedsiębiorstwo wybiera poziom zaangażowania w B+R, przy którym prawa strona właściwego dla niego równania Bellmana jest maksymalna. Zatem poziom wydatków na B+R zależy od przyrostu korzyści wynikających ze skutecznej innowacji. W przypadku lidera mamy

$$x_n = \frac{V_{n+1} - V_n}{\beta}, \tag{26}$$

dla naśladowcy

$$\overline{x}_n = \frac{V_0 - \overline{V}_n}{\beta}, \tag{27}$$

a dla przedsiębiorstwa działającego w warunkach konkurencji doskonałej

$$x_0 = \frac{V_1 - V_0}{\beta}. \tag{28}$$

Z układu równań (23)–(28) wyznaczamy wektor rozwiązań: $\left\{x_n, \overline{x}_{n+1}, V_n, \overline{V}_{n+1}\right\}_{n\geq 0}$. Niech μ_n oznacza frakcje sektorów z opóźnieniem technologicznym rzędu n = 0, 1, … w stanie stacjonarnym, gdzie $\sum_{n\geq 0}\mu_n = 1$. Stacjonarność wymusza równość dopływów i odpływów sektorów dla każdego stanu technologicznego n. Stan 0 oznacza przedsiębiorstwa o najbardziej zaawansowanej technologii. W $\mu_n\left(\overline{x}_n+h\right)dt$ sektorach, o opóźnieniu technologicznym n, naśladowca zrównuje się z liderem w okresie dt. Zatem całkowity napływ do stanu 0 wynosi: $\sum_{n\geq 1}\mu_n\left(\overline{x}_n+h\right)dt$. Z drugiej strony, w $\mu_0\left(2x_0\right)dt$ zrównoważonych sektorach jedno z przedsiębiorstw staje się samodzielnym liderem, a całkowity odpływ ze stanu 0 wynosi $2x_0\mu_0 dt$. Wynika stąd równość

$$2x_0\mu_0=\sum_{n\geq 1}\mu_n\left(\overline{x}_n+h\right), \tag{29}$$

dla stanu 1 otrzymujemy

$$\left(x_1+\overline{x}_1+h\right)\mu_1=2x_0\mu_0, \tag{30}$$

a dla $n\geq 2$

$$\left(x_n+\overline{x}_n+h\right)\mu_n=\mu_{n-1}x_{n-1}. \tag{31}$$

Stopa wzrostu produkcji określona jest jako

$$g=\sum_{p\geq 1}\mu_p\left(\overline{x}_p+h\right)\left(p\ln\gamma\right)=\left(2\mu_0x_0+\sum_{k\geq 1}\mu_kx_k\right)\ln\gamma, \tag{32}$$

iloczyn wielkości przepływu przedsiębiorstw ze stanu p do stanu 0, prawdopodobieństwa tego zdarzenia oraz wielkości innowacji $p\ln\gamma$.

Warunek (32) pokazuje możliwy pozytywny wpływ zwiększonej konkurencji na rynku produktu na wzrost gospodarczy. W warunkach konkurencji doskonałej postęp technologiczny jest szybszy niż gdy w sektorze występuje lider. Jeżeli oba przedsiębiorstwa wdrażają technologie, to przy jednakowych nakładach na B+R tempo wzrostu zwiększa się dwukrotnie.

Rozpatrzmy przypadek, w którym przedsiębiorstwa mogą mieć przewagę tylko jednego poziomu innowacji nad konkurentem. Oznacza to, że lider nie może dokonywać wdrożenia innowacji. Odpowiada to przypadkowi, gdy γ jest relatywnie wysokie, czyli przyrost zysku jest prawie maksymalny

$$\varphi\left(\gamma^{-1},\alpha\right)\approx 1, \tag{33}$$

wówczas stopa wzrostu wynosi

$$g=\mu_0 2x_0\ln\gamma=\frac{2x_0\left(\overline{x}_1+h\right)}{2x_0+\overline{x}_1+h}\ln\gamma. \tag{34}$$

Większa konkurencja na rynku produktu skutkuje więc zwiększoną stopą wzrostu, przy założeniu o niezerowej konkurencyjności $\alpha > 0$. Zaostrzenie konkurencji może mieć również negatywny wpływ na wzrost gospodarczy poprzez redukcję przyrostu zysków w sektorze. Z drugiej strony, zwiększenie stopnia naśladownictwa h w gospodarce powoduje spadek najpierw bodźców do konkurencji między przedsiębiorstwami, a w konsekwencji – spadek stopy wzrostu gospodarczego.

Imitacja zwiększa prawdopodobieństwo osiągnięcia przez przedsiębiorstwo pozycji lidera μ_0, a tym samym wzrost stopy wzrostu g. Jest to zjawisko przeciwne do tak zwanego *business stealing effect*, spadku motywacji do innowacji. Zarówno więc konkurencja, jak i minimalny stopień naśladownictwa w gospodarce oddziałuje pozytywnie na wzrost gospodarczy.

Występowanie w gospodarce innowacji stopniowych, co jest wtedy, gdy parametr $\gamma \to 1$, prowadzi do odmiennych rezultatów niż te, które otrzymuje się na podstawie omówionych neoschumpeterowskich modeli wzrostu. Stopa wzrostu gospodarczego jako funkcja podatności na imitację h oraz intensywności konkurencji na rynku ma postać:

$$g = \frac{2\left(1 + f\left(\frac{h}{\eta\varepsilon}\right)\right)}{\frac{h}{\eta\varepsilon}\left(1 + 2f\left(\frac{h}{\eta\varepsilon}\right)\right)} h. \tag{35}$$

Jest to rosnąca funkcja α (ze skokiem w punkcie $\alpha = 1$), a jej zależność względem parametru h jest u-kształtna.

Wobec powyższego, przy niewielkich innowacjach, mechanizm omawianego modelu wzrostu jest sprzeczny z ideą modeli neoschumpeterowskich. Wzrost gospodarczy jest wynikiem zwiększania poziomu konkurencji na rynku produktu, gdyż większa konkurencja jest bodźcem dla przedsiębiorstwa do „ucieczki technologicznej”. Naśladowanie technologii wpływa również pozytywnie na wzrost gospodarczy, gdyż zaostrza konkurencję technologiczną, jednakże tylko wtedy, gdy skala imitacji jest niewielka. Większa tolerancja wobec naśladownictwa skutkuje schumpeterowskim efektem spowolnienia wzrostu gospodarczego.

3.4. Analiza modelu

Bodźcem do przeprowadzania innowacji w danym sektorze gospodarki nie są bezwzględne poziomy zysku monopolistycznego, tylko jego przyrost w stosunku do wartości okresu poprzedniego.

Zwiększenie konkurencji na rynku produktu może mieć pozytywny wpływ na przyrost zysku, wynikającego z wdrożenia innowacji. Podstawowym motywem działania staje się chęć wyprzedzenia konkurentów o podobnym zaawansowaniu technologicznym, pomimo że wdrożenie innowacji może zmniejszyć ogólny poziom zysku w branży. Jest to sprzeczne z paradygmatem schumpeterowskim występującym w modelu wzrostu Aghiona-Howitta [1992], o negatywnym wpływie konkurencji na rynku produktu na wzrost gospodarczy.

Analizowany model wzrostu jest opisem gospodarki, w której postęp technologiczny dokonuje się w sposób stopniowy (*step-by-step*). Rynek produktu w każdym sektorze jest opisywany modelem duopolu Bertranda, co umożliwia koncentrację uwagi na konkurencji wewnątrz sektora, a nie między sektorami. Oba przedsiębiorstwa charakteryzują się rosnącą funkcją kosztów krańcowych B+R, co zmusza je do prowadzania prac B+R. Przedsiębiorstwo opóźnione technologicznie nie może zdystansować obecnego lidera technologii, dopóki nie osiągnie najwyższego, dostępnego poziomu technologii, by w przyszłości zająć pozycję lidera. Przyjęte założenia sprzyjają konkurencji doskonałej w większości sektorów gospodarki, co wpływa na silny efekt „ucieczki" skutecznego innowatora.

Z badań empirycznych, przeprowadzonych przez twórców analizowanego modelu wzrostu wynika, że:

– niewielka konkurencja wywiera pozytywny wpływ na wzrost gospodarczy, gdyż wyzwala bodźce do ulepszania poziomu technologii, generując jednocześnie wzrost gospodarczy,
– przy braku konkurencji na rynku $\alpha = 0$, każde z przedsiębiorstw osiąga stały zysk, co redukuje motywację do ponoszenia wydatków na B+R, a w konsekwencji redukuje postęp technologiczny i wzrost gospodarczy do zera,
– niewielki poziom naśladownictwa h w gospodarce, przyspiesza jej tempo wzrostu,
– jeżeli $h \rightarrow +\infty$, to maleją bodźce do innowacji i zmniejsza się tempo wzrostu,
– przedsiębiorstwa działające w warunkach konkurencji doskonałej ponoszą wyższe wydatki na B+R niż pojedynczy liderzy danego sektora gospodarki, a zależność stopy wzrostu od poziomu konkurencji na rynku jest opisywana za pomocą rosnącej krzywej logistycznej.

Powyższe spostrzeżenia są argumentem przeciwko negatywnej zależności poziomu konkurencji i wzrostu gospodarczego, występującej w neoschumpeterowskich modelach wzrostu. W analizowanym modelu efekt ten występuje tylko w przypadku bardzo dużych wartości parametru γ, co oznacza duży skok technologiczny, jak również wysoki koszt prac B+R. Stopa wzrostu gospodarczego jest największa, gdy $\alpha = 1$, to znaczy wtedy, gdy poziom konkurencji jest najwyższy.

3.5. Wnioski

Podstawową zaletą analizowanego modelu wzrostu jest odrzucenie założenia o braku konkurencji na rynku produktu. Ograniczenie się do dwóch przedsiębiorstw w danym sektorze gospodarki ułatwia określenie stopnia substytucji produktów za pomocą parametru $\alpha \in [0, 1]$. Tym samym definiujemy intensywność konkurencji: monopol, gdy $\alpha = 0$ lub duopol Bertranda, gdy $\alpha = 1$.

W analizowanym modelu wzrostu przyjęto, że istnieje popyt na produkty wytwarzane przez oba przedsiębiorstw. Od poziomu technologii zależy efektywność wykorzystania zasobu siły roboczej – innowacja zmniejsza koszt produkcji. Oznacza to, że mechanizm kreatywnej destrukcji (na poziomie zarządzania jakością produktów) został zastąpiony konkurencją technologiczną. Każde z przedsiębiorstw dąży do zwiększenia zysku poprzez obniżenie kosztów. Dokonuje się swoista dezaktualizacja technologii, która ma inny charakter niż w modelach wzrostu Aghiona-Howitta [1992 i 1998]. Parametr opisujący „skok" technologiczny γ może przyjmować wartości zarówno wysokie, jak i niskie (mamy wtedy do czynienia z innowacjami stopniowymi). Wniosek ten może mieć istotne znaczenie dla modelowania realnych procesów gospodarczych.

Zrekonstruujmy mechanizm powstawania innowacji w modelu wzrostu Aghiona-Harrisa-Howitta-Vickersa [2001]. Pierwotnym bodźcem do prowadzenia przez każde przedsiębiorstwo danego sektora prac B+R jest chęć wyprzedzenia konkurenta w poziomie wykorzystywanej technologii. Tego rodzaju przewaga pozwala na osiągnięcie niższych jednostkowych kosztów produkcji, co może skutkować niższą ceną produktu, a w konsekwencji zwiększeniem udziału w rynku i eliminacją konkurencji. Podobnie jak w modelach wzrostu Aghiona-Howitta [1992 i 1998], innowacje są wynikiem inwestycji w B+R.

W analizowanym modelu wzrostu przyjęto kryterium maksymalizacji oczekiwanej wartości zdyskontowanego zysku firmy z wdrożenia nowej technologii produkcji. Co oznacza, że w każdym z sektorów gospodarki występuje konkurencja na rynku produktu, opisywanym modelem duopolu Bertranda, połączona z rywalizacją w sferze technologicznej.

Warto przeanalizować makroekonomiczne konsekwencje racjonalnych zachowań podmiotów mikroekonomicznych. Przy opisie całej gospodarki, jako nieprzeliczalnego zbioru sektorów, posługujemy się agregatami oznaczającymi frakcje sektorów, będących w określonym stanie technologicznym. Przez μ_n oznaczono część sektorów będących dokładnie n kroków technologicznych za liderem. Podmioty te są obecne na rynku produkcji. Liczebność poszczególnych grup określa rozkład poziomu technologicznego w gospodarce, co wpływa na wzrost gospodarczy. Ponadto cechą stacjonarnego stanu gospodarki jest równość dopływów i odpływów przedsiębiorstw do poszczególnych frakcji. W takim wypadku stopa wzrostu gospodarczego zależy bezpośrednio od liczebności grupy najbardziej zaawansowanych technologicznie przedsiębiorstw, od ponoszonych przez nie wydatków na B+R oraz od stałego przyrostu poziomu technologii w momencie zajścia innowacji. Wyższa konkurencyjność dwóch przedsiębiorstw w danym sektorze skutkuje podwyższeniem stopy wzrostu gospodarczego.

W zależności od wielkości parametru przyrostu technologii w modelu wzrostu wyróżniono dwie skrajne sytuacje. Jeżeli γ osiąga wysokie wartości, to mamy do czynienia z innowacją rozumianą jako przyczyna procesu kreatywnej destrukcji.

Wyższe wartości parametru oznaczają duże różnicowanie w otrzymywanych zyskach w przypadku osiągnięcia przewagi technologicznej, co w praktyce oznacza przejęcie przytłaczającej części zysków. Dodatkowe podobieństwo do modelu wzrostu Aghiona-Howitta [1992] wyraża się brakiem bodźców do wydatków na B+R przez obecnego lidera technologicznego (efekt Arrowa). W przypadku wysokich wartości γ, stopa wzrostu gospodarczego wynosi

$$g_t = \mu_0 \, 2x_0 \ln \gamma, \tag{36}$$

gdzie μ_0 oznacza frakcję przedsiębiorstw o najwyższym poziomie technologicznym.

Istotą analizowanego modelu wzrostu jest opis gospodarki przy założeniu niewielkich usprawnień technologii produkcji. Założenie to implikuje wartość parametru γ zbliżoną do jedności. W takim wypadku przedsiębiorstwa dysponujące technologią o zbliżonym poziomie zaawansowania będą wydawać podobne kwoty na B+R. Dokonując oceny oczekiwanego przyrostu zysku, wynikającego ze skutecznego wdrożenia innowacji, będą one podejmować podobne decyzje o alokacji zasobów. Wydatki na B+R zależą liniowo od różnicy technologicznej między danym podmiotem a liderem. Oznacza to, że w gospodarce będzie występował systematyczny i ustabilizowany rozwój technologiczny, stymulowany konkurencją na rynku produktu. Jego konsekwencją będzie wzrost gospodarczy o stopie wzrostu

$$g_s = (1+\mu_0)\eta(\gamma-1)^2 + O\left((\gamma-1)^3\right), \tag{37}$$

gdzie:

$\eta = \dfrac{1-\alpha\lambda}{1-\alpha}$ – elastyczność produkcji przedsiębiorstwa,

λ – przychód przedsiębiorstwa.

Określmy teraz warunki, przy których wyższa stopa wzrostu występuje w gospodarce o niższej wartości parametru γ niż w gospodarce o wysokiej wartości parametru γ. Wiemy, że obydwie stopy wzrostu są nieporównywalne, gdyż odpowiadają różnym gospodarkom. Sposobem na ominięcie tej przeszkody jest zbadanie przyrostów stóp wzrostu, które nie są zależne od obecnego poziomu technologii.

Załóżmy, że przyrost poziomu technologii wynosi $\Delta\gamma$. Wtedy przyrosty stóp wzrostu wynoszą odpowiednio

$$\Delta g_l = 2\mu_0 x_0 \ln \gamma_1 - 2\mu_0 x_0 \ln \gamma_0 = 2\mu_0 x_0 \ln\left(\frac{\gamma_1}{\gamma_0}\right) = 2\mu_0 x_0 \ln\left(1+\frac{\Delta\gamma}{\gamma_0}\right), \tag{38}$$

$$\Delta g_s = (1+\mu_0)\eta(\gamma_1 - 1)^2 + O\left((\gamma_1 - 1)^3\right) - (1+\mu_0)\eta(\gamma_0 - 1)^2 +$$
$$+ O\left((\gamma_0 - 1)^3\right) \approx (1+\mu_0)\eta(\Delta\gamma)^2. \tag{39}$$

Znajdźmy takie wartości parametrów modelu wzrostu, które zapewnią, że przyrost stopy wzrostu gospodarczego będzie większy dla małych wartości γ. Szukamy odpowiedzi na pytanie, kiedy $\Delta g_l < \Delta g_s$. Zauważmy, że

$$\Delta g_l < \Delta g_s \Leftrightarrow 2\mu_0 x_0 \ln\left(1 + \frac{\Delta\gamma}{\gamma_0}\right) < (1+\mu_0)\eta(\Delta\gamma)^2 \Leftrightarrow$$
$$\Leftrightarrow 2\mu_0 x_0 \frac{1}{\Delta\gamma}\ln\left(1 + \frac{\Delta\gamma}{\gamma_0}\right) < (1+\mu_0)\eta(\Delta\gamma) \Leftrightarrow$$
$$\Leftrightarrow 2\mu_0 x_0 \ln\left(1 + \frac{\frac{1}{\gamma_0}}{\frac{1}{\Delta\gamma}}\right)^{\frac{1}{\Delta\gamma}} < (1+\mu_0)\eta(\Delta\gamma) \Leftrightarrow$$
$$\Leftrightarrow 2\mu_0 x_0 \ln\left(e^{1/\gamma_0}\right) < (1+\mu_0)\eta(\Delta\gamma) \Leftrightarrow$$
$$\Leftrightarrow 2\mu_0 x_0 < (1+\mu_0)\eta(\Delta\gamma)\gamma_0 \Leftrightarrow$$
$$\Leftrightarrow \Delta\gamma\gamma_0 > \frac{2\mu_0 x_0}{(1+\mu_0)\eta}. \tag{40}$$

Ponieważ $\Delta\gamma \to 0$ oraz $\gamma_0 \to +\infty$, ale jest skończone, więc iloczyn $\Delta\gamma\gamma_0 \to 0$. Skąd wynika, że

$$\Delta g_l < \Delta g_s \Leftrightarrow \frac{2\mu_0 x_0}{(1+\mu_0)\eta} \to 0. \tag{41}$$

Zachodzi to wtedy, gdy $\mu_0 x_0 \to 0$, co oznacza, że rynek produktu jest rozdrobniony, nie ma licznej grupy liderów, a wydatki grupy lidera na B+R mają niewielki udział w globalnych wydatkach na B+R. Natomiast gdy $\alpha \to 1$, wtedy $\eta \to +\infty$, co zachodzi, gdy rynek produktu jest wysoce konkurencyjny.

Jeżeli mamy do czynienia z wysoce konkurencyjnym rynkiem, to obserwujemy wyższe tempo wzrostu przy założeniu małych wielkości γ. Jest to zgodne z intuicją, ponieważ wysoka konkurencja na rynku produktu zmusza firmy do ciągłych i systematycznych ulepszeń technologii produkcji. Nacisk kładzie się zatem na wdrożenie innowacji (uzyskanie przewagi konkurencyjnej), nie zaś na wielkość „skoku” technologii.

Jeżeli rynek produktu jest zdominowany przez grupę firm (wyższe wartości μ_0), to większe znaczenie dla przyspieszenia wzrostu mają przełomowe innowacje wymagające dużych nakładów na B+R, gdyż niewielkie zmiany technologiczne wpływałyby na poprawę sytuacji firmy w stopniu śladowym, a w konsekwencji na przyspieszenie wzrostu.

Podstawowym zastrzeżeniem wobec tego rodzaju sposobu modelowania procesów gospodarczych może być brak wymaganej elastyczności w opisie zmian technologicznych.

Po odrzuceniu upraszczającego założenia o pojawianiu się tylko przełomowych innowacji warto zaimplementować mechanizm umożliwiający pojawianie się innowacji różnej wielkości. W dalszej części artykułu podjęto próbę określenia dynamiki systemu gospodarczego z wielkością innowacji jako zmienną losową.

Podsumowując tę część analizy, należy podkreślić znaczenie dwóch równoległych procesów zachodzących w gospodarce – kreatywnej destrukcji (związanej z przełomowymi osiągnięciami technologicznymi) oraz kreatywnej konstrukcji (procesu stopniowego ulepszania produktów i technologii produkcji). Omówione powyżej modele wzrostu opisują te sprzężone ze sobą procesy w sposób niezależny jeden od drugiego. Bardziej zaawansowanym i lepiej odpowiadającym realiom opisem gospodarki byłby ogólny model gospodarki, w którym wzrost gospodarczy w długim okresie byłby efektem innowacji powszechnych i stopniowych.

4. Propozycje zmian w modelach wzrostu z mechanizmem kreatywnej destrukcji

Zgodnie z podstawowymi zasadami gospodarowania przedsiębiorstwa dążą na ogół do maksymalizacji zysku, co przekłada się na zwiększenie ich wartości wewnętrznej. Przy założeniu o efektywnym gospodarowaniu dążą one do optymalnej (pod względem oczekiwanych zwrotów) alokacji posiadanych zasobów. Oba paradygmaty stanowią podstawę opisu innowacji jako konsekwencji kreatywnej destrukcji.

Przedsiębiorstwa inwestują w B+R w celu osiągnięcia zysku nadzwyczajnego. Czynią to zgodnie z równaniem arbitrażowym, przyrównując oczekiwane zdyskontowane zyski ze skutecznego wdrożenia innowacji, z kosztami prac B+R. Zgodnie z poglądami J.A. Schumpetera powinna istnieć odwrotna zależność między obecną stopą innowacji oraz przyszłym poziomem rozwoju technologicznego. Kluczowa dla długookresowego wzrostu destrukcja nieefektywnych przedsiębiorstw ma bowiem swoje odzwierciedlenie w spadku zagregowanej wartości produkcji. Zatem podstawy modelowania kreatywnej destrukcji przez

Aghiona i Howitta są zgodne z powszechną intuicją ekonomiczną oraz z poglądami J.A. Schumpetera.

W przeciwieństwie do klasycznych metod opisu postępu technologicznego, w modelach wzrostu Aghiona–Howitta zrezygnowano z opisu deterministycznego. Uzasadnieniem jest charakter innowacyjności. Jednakże trudno znaleźć merytoryczne przesłanki przemawiające za tego typu sposobem opisu analizowanego zjawiska, mającego przecież racjonalne przyczyny (bynajmniej nie losowe).

Podejmując próbę opisu pojawiania się innowacji w gospodarce, znajdujemy się w sytuacji, w której nie mamy możliwości zidentyfikowania i skwantyfikowania wszystkich czynników wpływających na innowacje. Oznacza to konieczność posługiwania się pewnym uproszczeniem, polegającym na opisie powstawania innowacji za pomocą procesu stochastycznego, co paradoksalnie przemawia na korzyść podejścia probabilistycznego. Dążąc do przejrzystości opisu dynamiki gospodarki, jesteśmy skłonni zrezygnować ze skomplikowanych prób deterministycznego określenia zależności występujących w gospodarce na rzecz kompromisowego rozwiązania, jakim jest ujęcie stochastyczne.

Zagadnieniem blisko związanym z wykorzystaniem stochastycznych narzędzi do modelowania procesów wzrostu gospodarczego jest efekt końcowy, wynikający z uwzględnienia zmiennej losowej, opisującej pojawianie się innowacji. W szczególności chodzi o odpowiedź na pytanie o wpływ wartości parametru γ, określającego zmiany technologii, na uzyskiwane wyniki.

Prezentacja odrębnych sposobów opisu mechanizmu kreatywnej destrukcji miała na celu wskazanie istoty uwzględniania zarówno wysokich (model z GPT), jak i niskich (model z konkurencją na rynku produkcji) wartości tego parametru. W świetle naszej wiedzy o gospodarce mamy prawo sądzić, że występują w niej zarówno stopniowe, jak i przełomowe innowacje. Podejmując próbę rozróżnienia obu tych procesów, wkraczamy na niepewny grunt subiektywnej interpretacji realnych procesów gospodarczych.

Trudno zaprzeczyć temu, że każde zwiększenie poziomu dostępnej technologii jest procesem długotrwałym, wymagającym nakładów czynników produkcji, a także czasu. Nie jest przy tym jednoznaczne, czy niektórych czynności podejmowanych przy wdrażaniu nowej innowacji (półprodukty, nie do końca zaimplementowane technologie lub rozwiązania pośrednie) nie należałoby traktować również jako swoistych innowacji? Wiele z nich nie jest obserwowalnych. Zatem od którego momentu jesteśmy upoważnieni do określenia pewnego ulepszenia technologicznego jako innowacji ostatecznej? Nie znając jednoznacznej odpowiedzi na to pytanie, mimo woli doprowadzamy do zacierania się różnic między innowacjami przełomowymi a występowaniem procesu kreatywnej konstrukcji rozumianego jako stopniowe ulepszanie produktów i technologii.

Zagadnieniem szczególnie istotnym wydaje się określenie, który z tych procesów dominuje oraz który jest faktyczną przyczyną cyklu koniunkturalnego i/lub wzrostu gospodarczego w długim okresie. Opisując realne procesy gospodarcze, trzeba przyjąć jednoczesną obecność obu zjawisk. Być może należałoby także uznać, że innowacja przełomowa jest skumulowanym efektem innowacji stopniowych, które nie zawsze są postrzegane w kategoriach dynamicznego procesu kumulacji wiedzy i umiejętności, niezbędnych do powstania innowacji przełomowej.

Istotną cechą omawianych modeli wzrostu Aghiona–Howitta jest wybór poziomu agregacji przy opisie gospodarki. W modelach tych przyjęto, że podstawowym podmiotem gospodarczym jest przedsiębiorstwo. Jednak ewolucja gospodarki opisywana jest na poziomie jej sektorów. Wybór ten jest właściwy także ze względu na założenia odnoszące się do mechanizmu kreatywnej destrukcji. Wyścig technologiczny odbywa się przede wszystkim wewnątrz sektora (odmienne założenia poczyniono w modelu z GPT), z tego względu przedsiębiorstwa dążą do osiągnięcia jak największego udziału w rynku w swoim sektorze. Dlatego też innowacje pojawiające się w sektorze jako całości są opisywane jako jeden proces. Modele wzrostu Aghiona–Howitta [1992 i 1998] mogą być swoistym pomostem w opisie gospodarki na poziomie mikro (zadanie maksymalizacji zysku przy braku arbitrażu) oraz na poziomie makro (dynamika całej gospodarki). Aby tak się stało, warto rozważyć dokonanie dalszych modyfikacji w konstrukcji tych modeli wzrostu.

Pierwszym kontrowersyjnym założeniem w modelach Aghiona-Howitta [1992 i 1998] jest występowanie efektu Arrowa, co jest równoznaczne z brakiem innowacji lub nakładów na B+R ze strony przedsiębiorstwa o najbardziej zaawansowanej technologii produkcji. Taki sposób myślenia trudno uznać za racjonalny. Czy racjonalne jest przypuszczenie, że przedsiębiorstwo po osiągnięciu pozycji lidera technologicznego w danym sektorze skazuje się na pewną stratę tej uprzywilejowanej pozycji? Czy rzeczywiście zamiast korzystać z osiągniętej przewagi technologicznej nad konkurentami i jeszcze bardziej ją zwiększać, lider skupia się tylko na czerpaniu doraźnych zysków z obecnej, skutecznie wdrożonej innowacji? Sytuacja taka nie znajduje potwierdzenia w obserwacji realnej gospodarki, w której liderzy technologiczni dyktują na ogół trendy jakości produktów, ale też w pracach B+R[2].

W modelu wzrostu Aghiona-Harrisa-Howitta-Vickersa [2001] odrzucono założenie o monopolizacji sektora przez lidera technologicznego na rzecz konkurencji między podmiotami. Dzięki czemu wzięto pod uwagę ciągłą rywalizację

[2] Przykładem takiej sytuacji jest na pewno sektor nowych technologii informatycznych, w szczególności oprogramowania komputerowego oraz zaawansowanych urządzeń mobilnych, gdzie liderzy (odpowiednio Microsoft, Sun Microsystems, Google oraz Apple, HP lub Nokia) dążą do ciągłego ulepszania technologii produkcji oraz samych produktów, o czym możemy się przekonać prawie każdego miesiąca wraz z premierami coraz to nowszych „cudów techniki”.

między przedsiębiorstwami i nieprzerwaną ich chęć do osiągnięcia przewagi nad konkurentami.

Kolejnym ważnym problemem, z którym stykamy się we wszystkich analizowanych modelach wzrostu, jest sposób rozumienia i opisu dyfuzji technologii. Proces ten na ogół jest rozumiany jako rozprzestrzenianie się najbardziej zaawansowanych technologii produkcyjnych wśród podmiotów gospodarczych, dokonujące się poprzez naśladownictwo technologicznego lidera na danym rynku. W literaturze ekonomicznej zagadnienie dyfuzji technologii zostało podjęte między innymi przez R. Nelsona i E. Phelpsa [1966]. Jego idea opiera się na fizycznym modelu nieuporządkowanego ruchu cząstek. Model Nelsona-Phelpsa pozwala przedstawić złożone zjawiska występujące w gospodarce: naśladowanie technologii konkurencji i efekty kooperacji między partnerami biznesowymi[3].

Wydaje się, że współcześnie traci na znaczeniu geograficzny wymiar tego procesu, na rzecz dyfuzji technologii między współpracującymi podmiotami. Stąd konstrukcja rozprzestrzeniania technologii zaproponowana w modelu Aghiona-Howitta [1998] powinna być poddana modyfikacji, idącej w kierunku uwzględnienia nie tyle bliskości położenia danych firm, ile relacji biznesowych łączących poszczególne przedsiębiorstwa. Co więcej, większość rozwiniętych gospodarek ma zaawansowany system legislacyjny skutecznie chroniący innowatorów. Dlatego zamiast definiowania wrogiego przejmowania konkurencyjnych technologii można zaproponować wymianę informacji o technologiach, istniejących i mających swoich właścicieli, między współpracującymi podmiotami. Mechanizm tego procesu mógłby być podobny do tego, jaki zaproponowano w modelu Aghiona-Howitta [1998], z tą różnicą, że zamiast stałego parametru m – oznaczającego podobne i blisko zlokalizowane przedsiębiorstwa – można by rozpatrywać pewien wskaźnik natężenia relacji biznesowych danego przedsiębiorstwa z jego otoczeniem. W odniesieniu do modelu wzrostu Aghiona-Harrisa-Howitta-Vickersa [2001] warto rozważyć możliwość zmiany interpretacji parametru dyfuzji h jako wskaźnika kooperacji między podmiotami operującymi w różnych sektorach gospodarki.

Najważniejszą modyfikacją modeli wyjściowych, z punktu widzenia poprawności modelowania postępu technologicznego, jest równoczesne uwzględnienie systematycznych i przełomowych innowacji w gospodarce. Należy pamiętać o tym, że zjawiskiem nieporównywalnie częstszym jest pojawianie się niewielkich, systematycznych innowacji. Natomiast przełomowe odkrycia są zdarzeniami niezwykle rzadkimi. Jednakże innowacje przełomowe można traktować jako konsekwencję częstych, lecz stopniowych zmian technologicznych. W tym kontekście innowacja przełomowa staje się pewnego rodzaju efektem kumulacji

[3] Problem dyfuzji technologii rozpatrywano w pracach: [Cichy i Malaga 2007; Cichy 2008].

systematycznych unowocześnień produktów. Podejście to znacząco niweluje dystans między „destrukcyjną”, a „konstrukcyjną” interpretacją innowacji. Powyższy mechanizm generowałby strumień stopniowych innowacji – pojawiających niezależnie w każdym sektorze, oraz globalny proces innowacji przełomowych – jako konsekwencja kumulacji w jednym z sektorów gospodarki.

Innymi słowy, w modelach wzrostu powinno się brać pod uwagę zarówno procesy kreatywnej konstrukcji, jak i kreatywnej destrukcji. Pewnym rozwiązaniem tej kwestii jest zastąpienie parametru opisującego wielkości innowacji pojawiających się w gospodarce przez zmienną losową. W tym celu można na przykład wykorzystać rozkład wykładniczy do opisu poziomu zmiennej γ. Wielkość innowacji zostałaby uzależniona od okresu oczekiwania na pojawienie się innowacji. W przypadku częstszych innowacji w gospodarce silniejszy byłby efekt kreatywnej konstrukcji. Zmniejszenie ich częstości skutkowałoby pojawianiem się przełomowych innowacji. Można też rozważyć odmienne podejście, polegające na wprowadzeniu zmiennej losowej (o znanym, niesymetrycznym rozkładzie, na przykład logarytmiczno-normalnym) jako charakterystyki kreatywnej destrukcji. Wyższe wartości parametru λ oznaczałyby częstsze innowacje w gospodarce (modelowane tradycyjnie za pomocą rozkładu Poissona), natomiast niższe odpowiadałyby schumpeterowskim falom powszechnych innowacji, a wielkości innowacji byłby funkcją odwrotności λ.

W celu sprawdzenia poprawności powyższych zaleceń dokonajmy modyfikacji modelu wzrostu Aghiona-Howitta [1998], polegającej na wprowadzeniu zamiast parametru γ zmiennej losowej o rozkładzie wykładniczym. Przeprowadźmy symulację na podstawie następującego układu równań:

– równanie opisujące prawdopodobieństwo zaistnienia procesu *social learning*

$$\phi(m,k,n_2)=\sum_{j=k}^{m}\binom{m}{k}n_2^j(1-n_2)^{m-j}, \tag{42}$$

– układ równań opisujący dynamikę przechodzenia przedsiębiorstw między trzema stanami innowacji:

$$\dot{n}_1=\left[\lambda_0+\phi(m,k,n_2)\right](1-n_1-n_2)-\lambda_1 n_1, \tag{43}$$

$$\dot{n}_2=\lambda_1 n_1, \tag{44}$$

$$n_0\equiv 1-n_1-n_2, \tag{45}$$

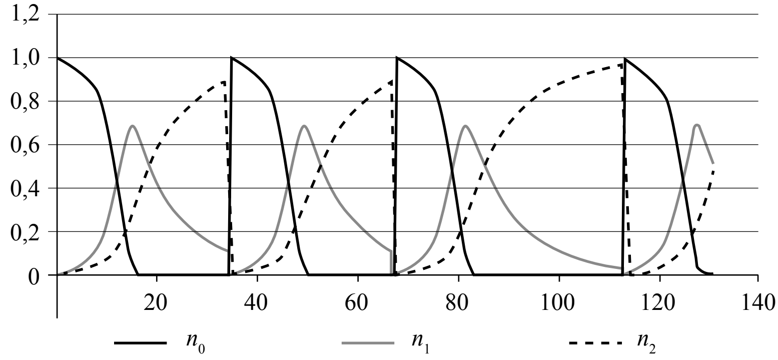
– równanie równowagi bilansowej na rynku pracy

$$(1-n_2)x_0+n_2x_n+n_1N=L, \tag{46}$$

– równanie produkcji globalnej, w którym wielkość produkcji zależy od poziomu technologii A i nie zależy od wielkości innowacji γ,

$$Y = \left(L - n_1 N\right)\left(1 - n_2 + n_2 A^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}\right)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}}. \tag{47}$$

W symulacjach przyjęto dodatkowe rozstrzygnięcia. Moment t_i pojawienia się w gospodarce i-tej innowacji został opisany został za pomocą rozkładu Poissona z parametrem λ = 0,02. Oznacza to, że średni czas oczekiwania na innowację λ^{-1} = 50 wynosi okresów (interpretowanych jako lata). Zakładamy, że innowacja pojawia się w momencie zerowym, zatem $t_1 = 0$. Wielkość i-tej innowacji opisuje zmienna losowa γ_i o rozkładzie wykładniczym z parametrem $\nu_i = \dfrac{c}{\gamma_i - \gamma_{i-1}}$. W efekcie wielkość pojawiającej się innowacji uzależniono od okresu oczekiwania na tę innowację. Zabieg ten powoduje, że dłuższy czas oczekiwania na innowację zwiększa prawdopodobieństwo osiągnięcia wyższych wartości γ_i. Zatem rozkład wykładniczy zmiennej γ_i jest różny dla różnych i.



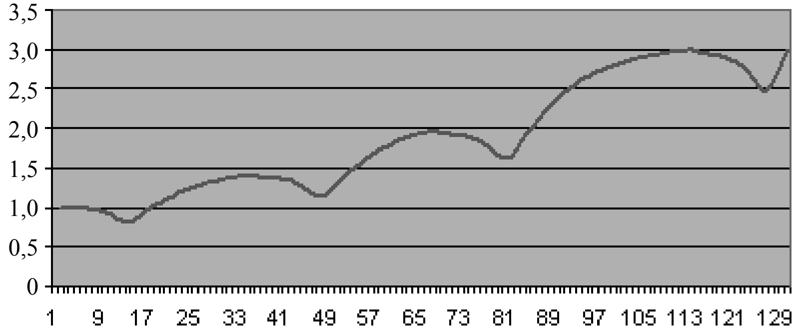
Rys. 1. Trajektoria przejścia przedsiębiorstw pomiędzy trzema stanami innowacji

Źródło: Obliczenia własne

Po każdorazowym pojawianiu się innowacji w gospodarce zachodzą dwa zdarzenia. Po pierwsze zwiększa się poziom technologii w gospodarce:

$$\frac{A_i}{A_{i-1}} = 1 + W^{-1}(\nu_i),$$

gdzie $W^{-1}(\nu_i)$ oznacza odwrotną dystrybuantę rozkładu wykładniczego. Po drugie następuje zmiana poziomu technologii wszystkich przedsiębiorstw.



Rys. 2. Trajektoria tempa wzrostu produkcji

Źródło: Obliczenia własne

Niezależnie od tego, w którym z trzech stanów innowacji znajdowały się przedsiębiorstwa, zostają one przenoszone do stanu zerowego – co wynika z obecności nowej, niezaimplementowanej technologii. Proces ten powoduje rozpoczęcie od nowa procesu migracji przedsiębiorstw między stanami innowacji oraz generuje cykliczność trajektorii produkcji globalnej.

Zakończenie

Zagadnienie modelowania postępu technologicznego, jako jednej z kluczowych przyczyn wzrostu gospodarczego, pozostaje jednym z istotniejszych wyzwań współczesnej makroekonomii. Jest to bardzo złożony problem ze względu na nieobserwowalność, nieprzewidywalny charakter i rozmiary tego procesu.

Wśród wielu propozycji rozwiązania tego problemu, interesującym podejściem wydaje się idea kreatywnej destrukcji, wykorzystana między innymi w modelach endogenicznego wzrostu Aghiona-Howitta. Pomimo wielu zalet tego typu opisu procesu pojawiania się innowacji w gospodarce warto wskazać kilka zagadnień, które wymagają dalszego dopracowania bądź istotnej przebudowy.

W zaproponowanych w artykule modyfikacjach mechanizmu kreatywnej destrukcji stosowanego w modelach Aghiona-Howitta zrezygnowano z efektu Arrowa. Ponadto przeanalizowano interpretację mechanizmu dyfuzji technologii oraz podjęto próbę różnicowania wielkości pojawiających się innowacji.

Mechanizm kreatywnej destrukcji, jako sposób opisu procesu zmian poziomu technologii, wymaga dalszych modyfikacji w celu dostosowania do realiów gospodarczych. Największą zaletą tego podejścia jest to, że znajduje on swoje potwierdzenie w rzeczywistych procesach zachodzących w gospodarce w długim okresie. Ponadto prostota jego opisu i wykorzystywanych w tym celu narzędzi, a także jego zgodność z intuicją, przemawiają na korzyść stosowania takiego sposobu myślenia o innowacyjności.

Zaproponowane w artykule modyfikacje istniejących modeli wzrostu z mechanizmem kreatywnej destrukcji i/lub kreatywnej konstrukcji stwarzają możliwości podjęcia się nowych rozszerzeń i uogólnień tej klasy modeli wzrostu. W dalszych pracach należałoby przede wszystkim uwzględnić w tego typu modelach rynek kapitałowy. Między innymi dlatego, że warunki finansowania innowacji wywierają istotny wpływ na częstość, wielkość i dynamikę procesów innowacyjnych, które przekładają się na określony wzrost i rozwój gospodarczy.

Bibliografia

Aghion, P., 2004, *Growth and development: A schumpeterian approach,* Annals of Economics and Finance No. 5, s. 1–25.

Aghion, P., Howitt, P., 1992, *A model of growth through creative destruction*, Econometrica vol. 60, No. 2, s. 323–351.

Aghion, P., Howitt, P., 1998, *On the macroeconomic effects of major technological change*, Annales d'Économie et de Statistique No. 49/50, s. 53–75.

Aghion, P., Howitt, P., 2009, *The Economics of Growth*, MIT, Press.

Aghion P., Harris C., Howitt P., Vickers J., 2001, *Competition, imitation and growth with step-by-step innovation*, The Review of Economic Studies vol. 68, No. 3, s. 467–492.

Cichy, K., 2008, *Kapitał ludzki i postęp techniczny jako determinanty wzrostu gospodarczego*, Instytut Wiedzy i Innowacji, Warszawa.

Cichy, K., Malaga, K., 2007, *Dyfuzja technologii w zagregowanych modelach wzrostu gospodarczego*, w: P. Miłobędzki, M. Szreder (red.), *Modelowanie i prognozowanie gospodarki narodowej*, Prace i Materiały Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Gdańskiego, nr 5, Gdańsk.

Nelson, R., Phelps, E., 1966, *Investment in humans, technological diffusion, and economic growth*, The American Economic Review vol. 56, No. 1/2, s. 69–75.

Schumpeter, J.A., 1960, *Teoria rozwoju gospodarczego*, PWN, Warszawa.

THE CREATIVE DESTRUCTION MECHANISM IN NEO-SCHUMPETERIAN GROWTH MODELS

Summary: The aim of the article is to identify the mechanisms of Creative Destruction process in neo-Schumpeterian models of endogenous economic growth and to evaluate both the selection of tools used to describe this model and its correctness according to real economic processes. Referring to a critical analysis framework, the authors also took into account an alternative point of view on innovativeness, which is defined in economics as Creative Construction process. The considerations are based on particular economic growth models: Aghion-Howitt (1992), Aghion-Howitt (1998), Aghion (2004) and Aghion-Harris-Howitt-Vickers (2001).

Against this background, particular suggestions were made as to required extension of economic growth models of this genre: with random-generated innovations. Additionally, the results of simulation based on modified Aghion-Howitt (1998) economic growth model were presented. It is the construction of a more general economic growth model to be considered as the most important research trend. It should include the capital market as an important branch of the economy that decides on financing the technological progress and innovation. The principles of construction of such a model should take into account a dynamic depiction of the expected concord between real and nominal domains of the economy.

Key words: economic growth, creative destruction, creative construction, neo-Schumpeterian economic growth models, innovativeness, technological progress, social learning, technology diffusion.