

Dr Wioletta Nowak
Instytut Nauk Ekonomicznych
Uniwersytet Wrocławski

SPOSOBY AKUMULACJI WIEDZY W MODELACH WZROSTU GOSPODARCZEGO

Wprowadzenie

W literaturze ekonomicznej analiza problemów wzrostu gospodarczego zaczęła dominować po II wojnie światowej. W latach czterdziestych najbardziej popularnymi modelami wzrostu gospodarczego były modele R.F. Harroda (1939) i E.D. Domara (1946), które powstały na gruncie makroekonomii keynesistowskiej. Po keynesistowskich modelach pojawiły się neoklasyczne modele wzrostu np. R.M. Solow (1956), T.W. Swan (1956), E.S. Phelps (1961), K. Shell (1966), które w celu wyjaśnienia procesu długookresowego wzrostu gospodarczego wykorzystywały analizę neoklasycznych funkcji produkcji.

Neoklasyczny model wzrostu gospodarczego, w którym funkcja produkcji dóbr zależy tylko od kapitału rzeczowego i siły roboczej, nie jest w stanie wyjaśnić obserwowanego wzrostu gospodarczego w długim okresie czasu. W takim modelu długookresowa stopa wzrostu dochodu (kapitału) na pracownika jest zerowa ze względu na przyjęte założenia o stałych przychodach skali funkcji produkcji i malejącej krańcowej produktywności kapitału. W związku z tym, do neoklasycznego modelu wprowadzono kolejną zmienną, która oznacza wiedzę naukowo-techniczną (postęp techniczny, poziom technologii).

Pierwszym modelem, w którym postęp techniczny stanowi podstawową siłę napędową wzrostu gospodarczego był model Solowa¹. Według tego modelu gospodarka, niezależnie od warunków początko-

¹ W literaturze ekonomicznej model Solowa jest często nazywany modelem Solowa-Swana (np. J. Conlisk (1969), R.J. Barro i X.X. Sala-i-Martin (1998), S. Dowrick i M. Rogers (2002), K. Malaga (2004)). Podstawowa różnica między podejściem R.M. Solowa i T. Swana polega na tym, że pierwszy z nich skupił się na analizie zmian w czasie stosunku kapitału do siły roboczej, a drugi badał ewolucję stosunku produktu do kapitału [Dixon, 2003, s. 487].

wych, zmierza w kierunku stanu wzrostu zrównoważonego², w którym stopa wzrostu produktu (kapitału) na pracownika jest równa stopie wzrostu wiedzy naukowo-technicznej. Uwzględnienie w analizie procesów wzrostu postępu technicznego traktuje się jako mocną stronę modelu.

Postęp techniczny w modelu Solowa nie jest dokładnie sprecyzowany. Pod tym pojęciem rozumie się każdy długookresowy wzrost strumienia produktu, który nie jest związany z procesem akumulacji kapitału rzeczowego lub wzrostem zasobu pracy w gospodarce [Tokarski, 1998, s. 272]. Innymi słowy, postęp techniczny oznacza wszystkie te czynniki, poza ilością siły roboczej i kapitałem rzeczowym, które oddziałują na wzrost, np. kapitał ludzki, organizacja pracy, lepsze (nowe) maszyny i urządzenia itp. Model Solowa nie daje odpowiedzi na pytanie, czym jest postęp techniczny, ani jakie czynniki powodują jego zróżnicowanie. W konsekwencji, postęp jest nieokreśloną funkcją, zmieniającą się w czasie w sposób eksponencyjny. Traktowanie wiedzy naukowo-technicznej jako dobra publicznego uznaje się za wadę modelu.

W teorii wzrostu gospodarczego podjęto liczne próby endogenizacji postępu technicznego. Pierwsze pomysły traktowania go, jako konsekwencji świadomych decyzji podmiotów gospodarujących pojawiły się już w latach sześćdziesiątych. Obecnie wokół problemów endogenizacji postępu skupia się teoria wzrostu endogenicznego, a w szczególności modele działalności badawczo-rozwojowej (B+R).

Celem artykułu jest analiza własności modeli wzrostu gospodarczego, które stosują odmienne sposoby endogenizacji wiedzy, ukazanie genezy najczęściej wykorzystywanych równań akumulacji wiedzy oraz ich interpretacja. W artykule bada się również konsekwencje dla polityki ekonomicznej wynikające z wyboru danego sposobu endogenizacji wiedzy.

W związku z tym, struktura artykułu jest następująca. W pierwszej jego części przedstawia się dwa zasadnicze sposoby endogenizacji wiedzy w starej teorii wzrostu,³ tzn. koncepcję postępu technicznego indu-

² Proces wzrostu jest zrównoważony, jeśli pewne zasadnicze relacje są stałe w czasie. Na ogół wymaga się, by wielkości wszystkich produktów oraz wytwarzalnych i niewytwarzalnych nakładów wzrastały w stałych tempach. Ponadto, wszystkie stosunki nakładów do produktów powinny być stałe pod względem wartości [Gomułka, 1998, s. 113].

³ W teorii wzrostu przyjmuje się podział na starą i nową teorię. Udoskonalona w latach 1956-1970 teoria wzrostu została nazwana przez L. McKenzie'go „starą teorią wzrostu” [Snowdon, Vane, 2003, s. 101], natomiast nowa teoria wzrostu odnosi się do tych koncepcji, które powstały po 1986 r. Nową teorię wzrostu inaczej nazywaną teorią endogenicznego wzrostu gospodarczego, zapoczątkowały prace P. M. Romera (1986, 1990) i R. E. Lucasa Jr (1988).

kowanego uczeniem się przez działanie (*learning-by-doing*) oraz równania akumulacji wiedzy zaproponowane przez H. Uzawę (1965) i K. Shella (1966). Druga część artykułu dotyczy zagadnień endogenizacji postępu technicznego w modelach: P.M. Romera (1986) oraz modelach działalności badawczo-rozwojowej P.M. Romera (1990), C.I. Jonesa (1995) i T.S. Eichera i S.J. Turnovsky'ego (1999).

Endogenizacja postępu technicznego w starej teorii wzrostu

W latach sześćdziesiątych ekonomia powstawania wiedzy była przedmiotem rozważań: N. Kaldora i J.A. Mirrleesa (1962), K. Arrowa (1962), H. Uzawy (1965), E.S. Phelps'a (1966), K. Shella (1966, 1967), K. Sata (1966), E. Sheshinskiego (1967), W. Nordhaus'a (1969). W starej teorii wzrostu miały miejsce także inne sposoby endogenizacji kategorii postępu technicznego. Interesujące są modele: z postępowaniem technicznym indukowanym zmianami czynników wytwórczych i proporcjami funkcjonalnego podziału dochodu (np. W.E.G. Salter (1960), W. Fellner (1961)) oraz krzywej możliwości innowacyjnych (np. C. Kennedy (1964), P.A. Samuelson (1965), E.M. Drandakis i E.S. Phelps (1966), S. Ahmad (1966), J. Conlisk (1969)).

Spośród bogactwa sposobów endogenizacji postępu technicznego na szczególną uwagę zasługują przede wszystkim: koncepcja nabywania wiedzy przez działanie K. Arrowa i równania akumulacji wiedzy H. Uzawy i K. Shella. Do wyżej wymienionych sposobów endogenizacji bezpośrednio nawiązywały pierwsze modele wzrostu endogenicznego.

Akumulacja wiedzy jako efekt uboczny działalności gospodarczej

Na początku lat sześćdziesiątych w teorii wzrostu pojawiła się koncepcja nabywania wiedzy przez działanie (praktykę). W ten sposób określa się akumulację wiedzy, która nie zależy od widocznych innowacji w procesie wytwórczym, lecz jest efektem ubocznym normalnej działalności gospodarczej. Do pierwszych modeli wzrostu, w których źródłem postępu technicznego jest nabywanie wiedzy przez działanie zalicza się modele: K. J. Arrowa (1962), D. Levhari'ego (1966, 1966a) i E. Sheshinskiego (1967).

K. J. Arrow zauważył, że po wprowadzeniu nowego projektu samolotu czas potrzebny do skonstruowania szkieletu końcowego samolotu jest odwrotnie proporcjonalny do pierwiastka sześciennego z liczby wyprodukowanych już samolotów danego typu. Zatem, wyprodukowanie N -tego samolotu od rozpoczęcia produkcji wymaga użycia czasu pracy

proporcjonalnego do $N^{-1/3}$. Wiedza dotycząca produkcji samolotów jest stopniowo gromadzona po wyprodukowaniu każdej nowej sztuki. Przykład ten podkreśla rolę doświadczenia w poprawie produktywności. Jednakże odkrycie bardziej wydajnych technik produkcji samolotów nie jest wynikiem świadomie podejmowanych w tym celu wysiłków.

W modelu K. J. Arrowa wytwarzanie wiedzy zależy od akumulacji kapitału. Im większy jest zasób kapitału, tym większa jest produkcja dóbr, a tym samym więcej nowych technik może zostać odkrytych w procesie nabywania wiedzy przez działanie.

E. Sheshinski (1967) wykorzystał tę obserwację i zaproponował zastąpienie egzogenicznego postępu technicznego $A(t)$ z neoklasycznego modelu wzrostu wyrażeniem $K(t)^\beta$, gdzie $K(t)$ oznacza zasób kapitału rzeczowego w chwili t . W rezultacie zasób wiedzy naukowo-technicznej jest funkcją zasobu kapitału:

$$(1) \quad A(t) = BK(t)^\beta, \quad B > 0, \quad 0 < \beta < 1,$$

gdzie B jest stałą.

Proces tworzenia nowej wiedzy ma charakter pasywny. Podmioty nie inwestują bezpośrednio w sferę działalności badawczo-rozwojowej. Wiedza naukowo-techniczna, podobnie jak w modelu Solowa, ma charakter dobra publicznego. W rzeczywistości źródłem wiedzy nie jest głównie linia produkcyjna. Powstawanie nowej wiedzy jest konsekwencją świadomego działania podmiotów w sferze B+R. Fakt ten powinien zostać uwzględniony w procesie modelowania wiedzy.

Równania akumulacji wiedzy w starej teorii wzrostu

W neoklasycznym modelu Solowa długookresowa stopa wzrostu gospodarczego ma charakter egzogeniczny. Zależy od stopy postępu technicznego, którego kształtowanie nie jest w modelu wyjaśnione. By naprawić ten niedostatek w latach 60. podjęto próby modelowania postępu technicznego, zamiast przyjmowania tej wielkości jako danej. Do wytwarzania nowych technologii wykorzystano funkcję produkcji.

Wśród najważniejszych specyfikacji funkcji produkcji wiedzy wymienia się koncepcję:

- H. Uzawy (1965), zgodnie z którą produkcja wiedzy $A(t)$ zależy od zasobu istniejącej wiedzy i procentu siły roboczej $L(t)$ zatrudnionej w sektorze badań:

$$(2) \quad \dot{A} = aA(L_A/L)^{1-\alpha}, \quad a > 0, \quad 0 < \alpha < 1, \quad \dot{A} \equiv dA/dt,$$

gdzie L_A siła robocza zaangażowana w sferze badań.

- K. Shella (1966, 1967), który założył, że równanie przyrostu zasobu wiedzy naukowo-technicznej A jest następujące :

$$(3) \dot{A} = as_A Y - \delta_A A, \quad a, s_A, \delta_A \in (0,1),$$

gdzie a - współczynnik efektywności inwestycji w sferze wiedzy, s_A - stopa inwestycji w zasób wiedzy, Y - neoklasyczna funkcja produkcji dóbr z postępowaniem technicznym neutralnym w sensie Hicksa, δ_A - stopa deprecjacji zasobu wiedzy, która wynika z niedoskonałej transmisji istniejącego zasobu wiedzy z jednej generacji siły roboczej do następnej.

Akumulacja wiedzy bezpośrednio zależy od ilości czynników wytwórczych przeznaczonych na działalność badawczą. Z równania (3) wynika, że przyrost brutto zasobu wiedzy zależy od iloczynu współczynnika efektywności nakładów na działalność badawczą a oraz strumienia inwestycji w zasób wiedzy $s_A Y$. Zatem, gospodarki duże (z wysokim poziomem PKB) powinny charakteryzować się znacznie większym zasobem wiedzy naukowo-technicznej niż gospodarki małe, przy założeniu, że współczynniki efektywności inwestycji w wiedzę, stopy inwestycji w zasób wiedzy i stopy deprecjacji δ_A są takie same w obu typach gospodarek. Powyższy wniosek nie znajduje jednak potwierdzenia dla przypadku krajów wysoko rozwiniętych.⁴

Pierwsze modele endogenicznego wzrostu gospodarczego nawiązują do rozwiązań zaproponowanych przez ekonomistów z lat 60. Funkcję produkcji wiedzy H . Uzawy wykorzystano między innymi w modelach endogenicznego wzrostu R. E. Jr Lucasa (1988) oraz G. S. Beckera, K. M. Murphy'ego i R. Tamury (1990). Na funkcji produkcji wiedzy K. Shella wzorowano się w modelach: P. Romera (1990), G. M. Grossmana i E. Helpmana (1991), P. Aghiona i P. Howitta (1992).

Endogenizacja postępu technicznego w nowej teorii wzrostu

Cechą charakterystyczną nowej teorii wzrostu jest endogenizacja szeroko ujmowanego postępu technicznego oraz stopy oszczędności (inwestycji) w skali całej gospodarki. Pod pojęciem postępu technicznego

⁴ K. Sato (1966) zaproponował modyfikację równania K. Shella postaci $\dot{A} = (as_A - \delta_A)A$, gdzie wszystkie oznaczenia, jak w (3). Stopa wzrostu wiedzy jest tym wyższa, im większą wartość ma współczynnik efektywności nakładów na działalność badawczą i stopa inwestycji w zasób wiedzy oraz niższa jest stopa deprecjacji zasobu wiedzy. Jeśli a , s_A i δ_A są stałe, to gospodarkę charakteryzuje stała stopa postępu technicznego. Zatem, na akumulację wiedzy naukowo-technicznej nie mają wpływu takie wielkości, jak rozmiar gospodarki czy stopa wzrostu siły roboczej.

rozumie się akumulację wiedzy naukowo-technicznej lub kapitału ludzkiego, które bezpośrednio wykorzystuje się w procesie produkcyjnym [Tokarski, 1996, s. 581]. Stopy wzrostu wiedzy naukowo-technicznej i kapitału ludzkiego wynikają z celowych decyzji inwestycyjnych zachowujących się racjonalnie podmiotów. Konsumenci i producenci podejmują decyzje, które zapewniają optymalną strukturę konsumpcji i inwestycji w gospodarce. W tym celu wykorzystują kryterium maksymalizacji sumy zdyskontowanej użyteczności lub sumy zdyskontowanego zysku na określonym przedziale czasu. W teorii wzrostu endogenicznego uchyla się neoklasyczne założenie o stałych efektach skali funkcji produkcji.

W dalszej części artykułu zagadnienie endogenizacji postępu technicznego w nowej teorii wzrostu zawęża się do endogenizacji wiedzy naukowo-technicznej. W artykule prezentuje się sposób endogenizacji wiedzy z wykorzystaniem koncepcji uczenia się przez działanie oraz najczęściej stosowane w modelach B+R równania akumulacji wiedzy.

Postęp techniczny indukowany uczeniem się przez działanie

Pierwszym modelem w nowej teorii wzrostu, który implikował dodatnią długookresową stopę wzrostu, bez przyjmowania założenia o egzogenicznym postępie technicznym był model P.M. Romera (1986)⁵. Model ten nawiązuje do modelu postępu technicznego indukowanego uczeniem się przez działanie.

W modelu P.M. Romera akumulacja wiedzy odbywa się wg równania (1) (produkcję nowej wiedzy cechują malejące zwroty), a agregatową funkcję produkcji dóbr charakteryzują rosnące przychody skali. Wzrost produktywności następuje w wyniku działania pozytywnych efektów zewnętrznych. Przyczyną występowania korzyści zewnętrznych jest brak możliwości całkowitego opatentowania lub utrzymania w sekrecie nowej wiedzy. Kreacja wiedzy przez daną firmę z biegiem czasu przynosi korzyść innym podmiotom gospodarczym. Innymi słowy, kapitał ma nie tylko wpływ na produkcję danej firmy, ale także w sposób pośredni oddziałuje na produkcję innych podmiotów. Tak duże znaczenie dla wzrostu gospodarczego pozytywnych efektów zewnętrznych wiedzy jest konsekwencją przyjętego w modelu podstawowego założenia, że uczenie się jest produktem ubocznym w procesie tworzenia nowego kapitału.

Z modelu wynika, że stopa wzrostu produktu (kapitału, konsumpcji) na pracownika zależy od poziomu technicznego, elastyczności stru-

⁵ W literaturze wzrostu model ten jest znany także jako model Arrow-Sheshinskiego-Romera.

mienia produktu względem nakładów kapitału, stopy deprecjacji kapitału, parametrów preferencji (międzyokresowej elastyczności substytucji, stopy dyskontowej konsumpcji) i liczby ludności. Zależność stopy wzrostu od liczby ludności oznacza, że kraje z większą liczbą mieszkańców charakteryzuje szybszy wzrost gospodarczy. Według modelu, uzasadniona jest ingerencja państwa w postaci odpowiedniej polityki inwestycyjnej, promującej inwestycje o silnych efektach zewnętrznych.

Równania akumulacji wiedzy w nowej teorii wzrostu

W teorii wzrostu endogenicznego znaczącą rolę odgrywają modele działalności badawczo-rozwojowej. Cechą charakterystyczną tej grupy modeli jest występowanie odrębnego sektora działalności badawczo-rozwojowej oraz modelowanie wiedzy naukowo-technicznej (technologii). W modelach B+R do wytwarzania nowych technologii służy funkcja produkcji, w której w sposób deterministyczny łączy się ze sobą siłę roboczą i technologię, a w ogólnym przypadku również kapitał, w celu dokonania ulepszeń technologii. Jest to niewątpliwie bardzo uproszczony sposób opisu produkcji wiedzy. Ma on na celu uwzględnienie faktu, że *ceteris paribus*, poświęcanie większych zasobów na badania prowadzi do większej liczby odkryć. Często do funkcji produkcji wiedzy wprowadza się dodatkowo egzogeniczny parametr przesunięcia, pod pojęciem którego rozumie się inne wyznaczniki sukcesów działalności B+R. Na ogół w modelach nie precyzuje się jakie są te inne czynniki, które przyczyniają się do powodzenia działalności naukowej [Nowak, 2005, s. 168].

W modelu B+R, w którym wytwarzane są dwa dobra: produkt finalny Y i nowa wiedza naukowo-techniczna (nowe technologie) A , funkcję produkcji dóbr finalnych można zapisać w postaci ogólnej:

$$(4) \quad Y = F(A, \theta L, \vartheta K), \quad \theta, \vartheta \in \langle 0, 1 \rangle,$$

natomiast przyrost nowych technologii przebiega według:

$$(5) \quad \dot{A} = J(A, (1 - \theta)L, (1 - \vartheta)K),$$

gdzie: L - zasób siły roboczej, K - zasób kapitału rzeczowego, θ i ϑ , to odpowiednio część siły roboczej i kapitału zaangażowanych w produkcji dóbr finalnych, $(1 - \theta)$ i $(1 - \vartheta)$ - część siły roboczej i kapitału zatrudniona w sektorze B+R.

T. S. Eicher i S. J. Turnovsky (1999) pokazali, że w przypadku modelu sterowania optymalnego wzrost zrównoważony jest możliwy, gdy obie funkcje produkcji mają postać uogólnionej funkcji C. W. Cobba- P. H. Douglasa:

$$(6) \quad F = \alpha_F A^{\sigma_A} (\vartheta K)^{\sigma_K} (\theta L)^{\sigma_L},$$

$$(7) J = \alpha_J A^{\eta_A} [(1 - \vartheta)K]^{\eta_K} [(1 - \theta)L]^{\eta_L} - \delta_A A,$$

gdzie: elastyczności produkcji wyrażają wzory:

$$(8) \sigma_X \equiv \frac{X}{F(\cdot)} \frac{\partial F(\cdot)}{\partial X}, \quad \eta_X \equiv \frac{X}{J(\cdot)} \frac{\partial J(\cdot)}{\partial X}, \quad X = A, L, K,$$

α_F , α_J - parametry przesunięcia, δ_A - stopa deprecjacji wiedzy (stopa zaniku wiedzy technicznej). Zatem, w ogólnym przypadku przyrost nowych technologii A może zależeć od zasobu siły roboczej L , kapitału rzeczowego K oraz poziomu istniejącej wiedzy.

W teorii wzrostu wykorzystano różne przypadki funkcji produkcji wiedzy (7) i dóbr (6). Własności modelu i jego implikacje dla polityki ekonomicznej zależą od przyjętych postaci funkcji produkcji. W dalszej części artykułu bada się własności trzech podstawowych modeli B+R, tzn. modelu P. M. Romera (1990), C. I. Jonesa (1995) i T. S. Eichera i S. J. Turnovsky'go (1999). P. M. Romer (1990) przyjął, że funkcję produkcji dóbr charakteryzują stałe przychody względem czynników produkcji, a przyrost wiedzy jest liniową funkcją istniejącego zasobu wiedzy i siły roboczej zatrudnionej w sektorze B+R. Model C. I. Jonesa (1995) można uznać za bezpośrednią kontynuację modelu Romera. Jones przyjął postać funkcji produkcji dóbr taką, jak Romer, ale zmodyfikował równanie akumulacji wiedzy tak, by zwroty z wiedzy wykorzystywanej w sektorze B+R były malejące. Z kolei, podstawę modelu T. S. Eichera i S. J. Turnovsky'go (1999) stanowi zaproponowana przez C. I. Jonesa funkcja produkcji technologii i uogólniona funkcja produkcji dóbr.

Sposób uzyskania funkcji produkcji w wymienionych modelach z równań (6)-(7) przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Funkcje produkcji w podstawowych modelach B+R

Model	Funkcja produkcji dóbr	Funkcja produkcji dla wiedzy
P.M. Romera (1990) $\sigma_A = \sigma_L = 1 - \sigma_K = \alpha$ $\vartheta = 1, \eta_K = 0,$ $\eta_A = \eta_L = 1,$	$Y = \alpha_F (\theta LA)^\alpha K^{1-\alpha}$	$\dot{A} = \alpha_J A(1 - \theta)L - \delta_A A$
C.I. Jonesa (1995) $\sigma_A = \sigma_L = 1 - \sigma_K = \alpha$ $\vartheta = 1, \eta_K = 0,$	$Y = \alpha_F (\theta LA)^\alpha K^{1-\alpha}$	$\dot{A} = \alpha_J A^{\eta_A} [(1 - \theta)L]^{\eta_L} - \delta_A A$
T.S. Eichera i S.J. Turnovsky'go (1999) $\vartheta = 1, \eta_K = 0$	$Y = \alpha_F A^{\sigma_A} (\theta L)^{\sigma_L} K^{\sigma_K}$	$\dot{A} = \alpha_J A^{\eta_A} [(1 - \theta)L]^{\eta_L} - \delta_A A$

Źródło: opracowanie własne.

Modele B+R różnią się w kwestii czynników determinujących stopę wzrostu produktu (kapitału, konsumpcji, technologii) na pracownika w stanie zrównoważonego wzrostu.

W modelu P. M. Romera (1990) stopy wzrostu produktu, kapitału, konsumpcji i technologii są sobie równe. Stopy te zależą od preferencji konsumentów, parametrów funkcji produkcji, współczynnika efektywności nakładów kapitału ludzkiego w sferze naukowo-technicznej (parametru przesunięcia) i egzogenicznego zasobu kapitału ludzkiego. Według modelu stopa wzrostu produktu na pracownika jest proporcjonalna do zasobu kapitału ludzkiego. W związku z tym, że zasób kapitału ludzkiego najczęściej jest utożsamiany z liczbą naukowców i inżynierów zatrudnionych w sektorze B+R⁶, z modelu wynika, iż wzrost liczby ludności i/lub wzrost poziomu wydatków na działalność badawczo-rozwojową powoduje proporcjonalne zwiększenie stopy wzrostu produktu na pracownika w danej gospodarce. Większa populacja oznacza większą podaż potencjalnych pracowników sektora B+R i równocześnie większy popyt na produkty tegoż sektora. Zatem, większe gospodarki (z większą liczbą ludności) powinny charakteryzować się wyższą stopą wzrostu produktu na pracownika, ponieważ po pierwsze mogą przeznaczyć więcej zasobów na akumulację wiedzy, a po drugie zastosowanie wiedzy na większą skalę zwiększa zwroty z innowacji. Konsekwencją wzrostu poziomu wydatków na działalność badawczo-rozwojową jest wzrost udziału siły roboczej zatrudnionej w sektorze B+R w sile roboczej ogółem [Nowak, 2005a]. Prognozy efektów skali⁷ wynikające z modelu P. M. Romera nie zostały potwierdzone przez liczne badania empiryczne np. D. K. Backus, P. J. Kehoe i T. J. Kehoe (1992), C. I. Jones (1995, 1995a), S. Kortum (1997), P. S. Segerstrom (1998), C. Papageorgiou (2002).

W modelu C. I. Jonesa (1995) stopy wzrostu kapitału, produktu, konsumpcji wyrażone w terminach na pracownika oraz technologii są sobie równe i zależą od charakterystyk funkcji produkcji wiedzy (elastyczność funkcji produkcji nowych technologii względem wiedzy i siły roboczej) oraz stopy wzrostu ludności. W żadnym z sektorów na poziom stóp wzrostu w stanie zrównoważonego wzrostu nie mają wpływu charakterystyki funkcji produkcji z sektora dóbr. Wniosek wypływający z

⁶ Zasób kapitału ludzkiego można rozważać w kategoriach ilościowych (liczba naukowców i inżynierów) lub jakościowych (poziom wykształcenia mierzony np. liczbą lat edukacji).

⁷ W teorii wzrostu zjawisko polegające na tym, że stopa wzrostu produktu na pracownika rośnie wraz ze wzrostem poziomu nakładów na sektor B+R określa się mianem efektów skali. Innymi słowy, skala sektora B+R ma wpływ na stopę wzrostu gospodarczego.

modelu, iż długookresowa stopa wzrostu produktu na pracownika jest rosnącą funkcją stopy wzrostu ludności wydaje się kłopotliwy, ponieważ stopa ta, przeciętnie biorąc, nie jest wyższa w krajach o szybszym wzroście ludności. Jeśli potraktuje się model C. I. Jonesa jako model wzrostu gospodarczego w skali globalnej, wówczas nie wynika z niego, że kraje z większym przyrostem ludności mają większy wzrost dochodu, ale to, że wyższy wzrost ludności świata zwiększa światowy wzrost dochodu [Romer, 2000, s. 122]. W modelu powiększanie zasobu wiedzy staje się coraz trudniejsze w miarę jej wzrostu. Zatem, przy braku przyrostu ludności wzrost gospodarczy jest coraz słabszy. W rezultacie dodatni przyrost ludności jest niezbędny do podtrzymania wzrostu produktu na pracownika. Z modelu C. I. Jonesa wynika, że na stopę wzrostu produktu na pracownika w stanie stabilnym nie mają wpływu decyzje polityczne odnośnie wysokości subsydiów czy podatków.

Z kolei, w modelu T. S. Eichera - S. J. Turnovsky'ego (1999) na stopy wzrostu kapitału, produktu, konsumpcji na pracownika mają wpływ: stopa wzrostu ludności oraz charakterystyki funkcji produkcji wiedzy (elastyczność funkcji produkcji nowych technologii względem wiedzy i siły roboczej) i dóbr finalnych (elastyczność funkcji produkcji dóbr względem kapitału, wiedzy i siły roboczej). Stopa wzrostu technologii, która jest różna od stopy wzrostu produktu (kapitału, konsumpcji) na pracownika, zależy od elastyczności funkcji produkcji wiedzy. Podobnie jak, w modelu C. I. Jonesa, zmiany w intensywności badań nie wpływają na długookresową stopę wzrostu, ale na poziom długoterminowego dochodu wzdłuż ścieżki wzrostu zrównoważonego. Poziom stóp wzrostu nie zależy od decyzji podejmowanych w zakresie polityki gospodarczej zwłaszcza tych, które dotyczą wydatków na sektor B+R.

Modele C. I. Jonesa (1995) i T. S. Eichera i S. J. Turnovsky'ego (1999) różnią się w kwestii tempa konwergencji gospodarki do stanu wzrostu zrównoważonego. Z pierwszego modelu wynika, że stopy konwergencji produktu na pracownika i technologii różnią się wzdłuż trajektorii przesunięcia, ale w granicy są takie same i wynoszą mniej niż 1% rocznie. Według drugiego, stopy konwergencji produktu (kapitału) na pracownika i technologii na pracownika zmieniają się wzdłuż trajektorii przesunięcia, a ich graniczne wartości wynoszą odpowiednio około 2% rocznie dla produktu i 3% dla technologii. Porównywalne wartości stóp konwergencji z wynikami uzyskiwanymi w większości badań empirycznych otrzymuje się w przypadku modelu T. S. Eichera- S. J. Turnovsky'ego [W. Nowak, 2005a].

Na zakończenie rozważań dotyczących podstawowych sposobów modelowania wiedzy w teorii wzrostu warto zwrócić uwagę na interpre-

tację równań akumulacji wiedzy. Zależy ona od przyjętych założeń odnośnie elastyczności funkcji produkcji nowej wiedzy względem istniejącego zasobu technologii oraz siły roboczej zatrudnionej w sektorze B+R.

W funkcji produkcji nowej wiedzy naukowo-technicznej:

$$(9) \dot{A} = \alpha_A A^{\eta_A} [(1-\theta)L]^{\eta_L} - \delta_A A,$$

elastyczność η_A mierzy korzyści zewnętrzne związane z poziomem istniejącego zasobu wiedzy naukowo-technicznej. W zależności od wartości η_A funkcja (9) uwzględnia rosnące, malejące i zerowe korzyści zewnętrzne występujące w procesie produkcji nowych idei. Założenie $\eta_A > 1$ oznacza rosnące korzyści zewnętrzne - odkrycia z przeszłości zwiększają produktywność obecnych wysiłków w sferze B+R. Jeśli wymyślenie czegoś nowego staje się coraz trudniejsze wraz ze wzrostem poziomu wiedzy, wówczas przyjmuje się, że $\eta_A < 1$. W przypadku, gdy poziom wiedzy z przeszłości nie ma znaczenia dla obecnych odkryć (zerowe efekty zewnętrzne), wtedy zakłada się $\eta_A = 1$.

Teoretycznie możliwe są trzy przypadki. Niemniej jednak wybór odpowiedniego wariantu nie zależy tylko od przekonań autora danego modelu odnośnie wpływu istniejącego poziomu wiedzy na innowacje w przyszłości. P. M. Romer (1990) wybrał założenie $\eta_A = 1$. Przypadek $\eta_A < 1$, po raz pierwszy został zastosowany przez C. I. Jonesa (1995). T. S. Eicher i S. J. Turnovsky (1999) pokazali, że spełnienie warunku $\eta_A < 1$ jest konieczne dla uzyskania wzrostu zrównoważonego w modelu. Wybór założenia $\eta_A > 1$ oznacza wybuchowy wzrost w modelu.

O elastyczności η_L C. I. Jones (1995) oraz T. S. Eicher i S. J. Turnovsky (1999) założyli, że ma wartość należącą do przedziału (0,1). Innymi słowy, uwzględnia ujemne korzyści zewnętrzne wynikające z dublowania nowych technologii. Zjawisko dublowania idei obniża całkowitą liczbę innowacji dokonanych przez siłę roboczą zatrudnioną w sektorze B+R. Z kolei, P. M. Romer (1990) przyjął założenie $\eta_L = 1$.

O funkcji (9) nie zakłada się stałych przychodów względem skali w odniesieniu do nakładów. Założenie o stałych przychodach oznacza, że jeżeli podwajają się czynniki produkcji, wówczas wytwarzana wielkość podwaja się - nowe nakłady dają dokładnie to samo, co dawaty poprzednie. W przypadku produkcji wiedzy dokładne skopiowanie wkładu dawnych nakładów prowadzi do powtórzenia odkryć, a więc nie zmienia \dot{A} .

Podsumowanie

Zaprezentowane w artykule rozważania można podsumować następująco:

1. Zarówno w nowej, jak i starej teorii wzrostu gospodarczego podjęto szereg prób endogenizacji wiedzy naukowo-technicznej. W tym celu zastosowano koncepcję uczenia się przez działanie lub konstruowano odpowiednie równania akumulacji wiedzy. Wybór sposobu endogenizacji wiedzy decyduje o własnościach modelu.
2. Z modelu nabywania wiedzy przez działanie P. M. Romera (1986) wynika nieadekwatny do rzeczywistości gospodarczej wniosek, iż długookresowa stopa wzrostu w danym kraju jest proporcjonalna do liczby jego mieszkańców.
3. Własności modeli działalności badawczo-rozwojowej zależą od przyjętych założeń dotyczących funkcji produkcji wiedzy i dóbr.
4. Modele B+R implikują różne charakterystyki wzrostu zrównoważonego. W modelu P. M. Romera (1990) stopy wzrostu produktu, kapitału, konsumpcji i technologii są równe. Według C. I. Jonesa (1995) stopy wzrostu produktu (kapitału, konsumpcji) na pracownika oraz technologii są równe. Natomiast z modelu T. S. Eichera i S. J. Turnovsky'ego (1999) wynika, że stopy wzrostu produktu (kapitału, konsumpcji) na pracownika są równe, ale różne od stopy wzrostu technologii.
5. Modele B+R wskazują na odmienne czynniki determinujące długookresową stopę wzrostu produktu (kapitału) na pracownika. Według P.M. Romera (1990) tempo wzrostu produktu na pracownika zależy od preferencji konsumentów, parametrów funkcji produkcji i zasobu kapitału ludzkiego. Z kolei, charakterystyki funkcji produkcji wiedzy i stopa wzrostu siły roboczej mają wpływ na długookresowe tempo wzrostu w modelu C. I. Jonesa (1995). W modelu T. S. Eichera i S. J. Turnovsky'ego (1999) dodatkowo na stopę wzrostu oddziałują charakterystyki funkcji produkcji dóbr.
6. Modele C. I. Jonesa i T. S. Eichera - S. J. Turnovsky'ego różnią się zasadniczo w kwestii poziomu tempa konwergencji gospodarki do stanu wzrostu zrównoważonego oraz wskazują na inne czynniki, od których tempo zależy.
7. Analizowane modele wzrostu różnią się pod względem zaleceń dla polityki gospodarczej. Według P. M. Romera (1986) należy promować inwestycje o silnych efektach zewnętrznych. Działania polityki ukierunkowane na: wzrost inwestycji w rozwój badań naukowych, nowe technologie, szkolnictwo, infrastrukturę techniczną itp., w konsekwencji mają wpływ na tempo wzrostu w długim okresie w modelu P. M.

Romera (1990). W modelach C. I. Jonesa (1995), T. S. Eichera i S. J. Turnovsky'ego (1999) wzrost wielkości subsydiów przeznaczonych na sferę B+R lub akumulację kapitału powoduje jedynie wzrost poziomu produktu i wzrost stopy produktu wzdłuż trajektorii przesunięcia do nowego stanu równowagi. Zakres oddziaływania polityki ekonomicznej na wzrost gospodarczy ustala się na podstawie analizy dynamiki przesunięcia.

LITERATURA

- Aghion P., Howitt P., *A Model of Growth Through Creative Destruction*, „Econometrica” 1992, nr 60 (2).
- Ahmad S., *On the Theory of Induced Invention*, „Economic Journal”, 1966, nr 76.
- Arrow K.J., *The Economic Implications of Learning by Doing*, „Review of Economic Studies”, 1962, nr 29.
- Backus D.K., Kehoe P.J., Kehoe T.J., *In Search of Scale Effects in Trade and Growth*, „Journal of Economic Theory” 1992, nr 58.
- Barro R.J., Sala-i-Martin X.X., *Economic Growth*, New York, McGraw-Hill 1998.
- Becker G.S., Murphy K.M., Tamura R., *Human Capital, Fertility, and Economic Growth*, „Journal of Political Economy” 1990, nr 98.
- Conlisk J., *A Neoclassical Growth Model with Endogenously Positioned Technical Change Frontier*, „Economic Journal” 1969, nr 79.
- Dixon R., *Trevor Swan on Equilibrium Growth with Technical Progress*, „Economic Record” 2003, nr 79(247).
- Domar E.D., *Capital Expansion, Rate of Growth, and Employment*, „Econometrica” 1946, nr 14.
- Dowrick S., Rogers M., *Classical and Technological Convergence: Beyond the Solow-Swan Growth Model*, „Oxford Economic Papers” 2002, nr 54(3).
- Drandakis E.M., Phelps E.S., *A Model of Induced Invention, Growth and Distribution*, „Economic Journal” 1966, nr LXXVI (December).
- Eicher T.S., Turnovsky S.J., *Non-Scale Models of Economic Growth*, „Economic Journal” 1999, nr 109.
- Fellner W., *Two Propositions in the Theory of Induced Invention*, „Economic Journal” 1961, nr LXXI.
- Gomułka S., *Teoria innowacji i wzrostu gospodarczego*, Biblioteka CASE, Warszawa 1998.
- Grossman G., Helpman E., *Quality Ladders in the Theory of Growth*, „The Review of Economic Studies” 1991, nr 58 (193).
- Harrod R.F., *An Essay in Dynamic Theory*, „Economic Journal” 1939, nr 49(March).
- Jones C.I., *R&D Based Models of Economic Growth*, „Journal of Political Economy” 1995”, nr 103 (4).
- Jones C.I., *Time Series Tests of Endogenous Growth Models*, „Quarterly Journal of Economics” 1995a, nr 110 (2).
- Kaldor N., Mirrlees J.A., *A New Model of Economic Growth*, „Review of Economic Studies” 1962, nr 29.
- Kennedy C., *Induced Bias in Innovation and the Theory of Distribution*, „Economic Journal” 1964, nr 74.

- Kortum S., *Research, Patenting, and Technological Change*, „Econometrica” 1997, nr 65.
- Levhari D., *Extension of Arrow's „Learning by Doing”*, „Review of Economic Studies” 1966, nr 33(94).
- Levhari D., *Further Implication of Learning by Doing*, „Review of Economic Studies” 1966a, nr 33(93).
- Lucas R.E. Jr., *On the Mechanics of Economic Development*, „Journal of Monetary Economics” 1988, nr 22.
- Malaga K., *Konwergencja gospodarcza w krajach OECD w świetle zagregowanych modeli wzrostu*, Wyd. AE w Poznaniu, Poznań 2004.
- Nordhaus W., *An Economic Theory of Technological Change*, „American Economic Review” 1969, nr 59.
- Nowak W., *Modele wzrostu gospodarczego B+R bez efektów skali*, „Przegląd Prawa i Administracji” 2005, nr LXXI.
- Nowak W., *Konwergencja w modelach endogenicznego wzrostu gospodarczego*, Rozprawa doktorska, AE, Wrocław 2005a.
- Papageorgiou C., *On scale effects: further evidence*, „Applied Economics Letters” 2002, nr 9.
- Phelps E.S., *The Golden Rule of Accumulation: A Fable for Growthmen*, „American Economic Review” September 1961.
- Phelps E.S., *Models of Technical Progress and the Golden Rule of Research*, „Review of Economic Studies” 1966, nr 33.
- Romer D., *Makroekonomia dla zaawansowanych*, PWN, Warszawa 2000.
- Romer P.M., *Increasing Returns and Long-Run Growth*, „Journal of Political Economy” 1986, nr 94.
- Romer P.M., *Endogenous Technological Change*, „Journal of Political Economy” 1990, nr 98 (5).
- Salter W.E.G., *Productivity and Technical Change*, Cambridge University Press, Cambridge 1960.
- Samuelson P.A., *A Theory of Induced Innovation along Kennedy-Weizsäcker Lines*, „Review of Economics and Statistics” 1965, nr 47.
- Sato K., *Discussion*, „American Economic Review” 1966, nr 56 (2).
- Seegerstrom P.S., *Endogenous Growth without Scale Effects*, „American Economic Review” 1998, nr 88(5).
- Shell K., *Toward a Theory of Inventive Activity and Capital Accumulation*, „American Economic Review” 1966, nr 56.
- Shell K., *A Model of Inventive Activity and Capital Accumulation*, [w:] *Essays on the Theory of Optimal Economic Growth*, K. Shell (red.), MIT Press, Cambridge 1967.
- Sheshinski E., *Optimal Accumulation with Learning by Doing*, [w:] *Essays in the Theory of Optimal Growth*, K. Shell (red.), MIT Press, Cambridge 1967.
- Snowdon B., Vane H.R., *Rozmowy z wybitnymi ekonomistami*, Wyd. PTE i Dom Wydawniczy Bellona, Warszawa 2003.
- Solow R.M., *A Contribution to the Theory of Economic Growth*, „Quarterly Journal of Economics” 1956, nr 70.
- Swan T.W., *Economic Growth and Capital Accumulation*, „Economic Record” 1956, nr 32.
- Tokarski T., *Postęp techniczny a wzrost gospodarczy w modelach endogenicznych*, „Ekonomista” 1996, nr 5.

- Tokarski T., *Postęp techniczny a wzrost gospodarczy w modelach Solowa i Lucasa*, „*Ekonomista*” 1998, nr 2-3.
- Tokarski T., *Dwadzieścia lat renesansu teorii wzrostu gospodarczego. Na ile lepiej rozumiemy jego mechanizm?* [w:] *Czy ekonomia nadążyła za rzeczywistością*, A. Wojtyła (red.), *Materiały z VII Kongresu Ekonomistów Polskich*, Wyd. PTE-Bellona, Warszawa 2001.
- Uzawa H., *Optimum Technical Change in an Aggregative Model of Economic Growth*, „*International Economic Review*” 1965, nr 6(1).

Streszczenie

Własności modelu wzrostu gospodarczego zależą od wyboru sposobu akumulacji wiedzy. W artykule analizuje się wybrane sposoby endogenizacji wiedzy w starej i nowej teorii wzrostu gospodarczego. W przypadku starej teorii prezentuje się koncepcję postępu technicznego indukowanego uczeniem się przez działanie oraz równania akumulacji wiedzy zaproponowane przez H. Uzawę (1965) i K. Shella (1966). Endogenizacja wiedzy w nowej teorii ukazana jest na przykładzie modelu P. M. Romera (1986) oraz modeli działalności badawczo-rozwojowej: P. M. Romera (1990), C. I. Jonesa (1995) i T. S. Eichera i S. J. Turnovsky'ego (1999). Ponadto w artykule bada się konsekwencje dla polityki ekonomicznej wynikające z wyboru danego sposobu endogenizacji wiedzy.

The Endogenisation of Knowledge in the Growth Models

Summary

Properties of a growth model depend on the way in which knowledge is made endogenous. This paper presents some methods of knowledge modeling which are used in old and new endogenous growth theory. The specification of technology in old growth theory is presented using the concept of learning by doing and the production function approach (H. Uzawa (1965), K. Shell (1966)). The endogenisation of knowledge in new growth theory is shown on example of P. M. Romer (1986) model and P. M. Romer (1990), C. I. Jones (1995), T. S. Eicher and S. J. Turnovsky (1999) R&D-based endogenous growth models. The paper also presents policy implications of examined models.