

**Bartosz Sternal**

Szkoła Główna Handlowa w Warszawie

e-mail: bartosz.sternal@gmail.com

---

## **EFEKTY SKALI W TWORZENIU TECHNOLOGII I AKUMULACJI KAPITAŁU LUDZKIEGO A STAGNACJA I REGRES TECHNOLOGICZNY**

---

## **SCALE EFFECTS IN CREATING TECHNOLOGY AND HUMAN CAPITAL ACCUMULATION IN ANALYZING STAGNATION AND TECHNOLOGICAL REGRESS**

---

DOI: 10.15611/pn.2018.529.29

JEL Classification: O40

**Streszczenie:** W artykule rozważany jest problem ewentualnej utraty wiedzy ekonomicznie użytecznej w ramach modelu wzrostu. Zaproponowany model wzrostu opiera się na alokacji kapitału ludzkiego przez pokolenie młodsze między różne zadania produkcyjne, by uzyskać możliwie wysoki dochód w przyszłości dzięki specjalizacji. Alternatywą dla uczenia się istniejących technik produkcji jest innowacja. W ramach modelu sformułowany zostaje wniosek, że warunkiem innowacyjności gospodarki jest wzrost rozmiaru gospodarki mierzonego liczbą tworzących ją podmiotów. Stagnacja demograficzna prowadzi zarazem do stagnacji technologicznej i w konsekwencji gospodarczej, postępująca zaś depopulacja do trwałego regresu technologicznego. Rozważania zostają uzupełnione o wpływ dyfuzji technologii, dzięki której rozmiar rynków zagranicznych może substytuować rozmiar gospodarki krajowej dla potrzeb innowacji i utrzymania poziomu wiedzy.

**Słowa kluczowe:** efekty skali, innowacja, postęp techniczny, stagnacja, regres technologiczny.

**Summary:** The article presents the problem of possible loss of economically useful knowledge. A growth model is proposed that centers on accumulation of human capital and its allocation among production tasks by younger generation in order to acquire possibly high income once they become the older generation. Alternative exists between learning an existing set of skills and innovating. The conclusion of the model is that in order to achieve continuous innovation, the size of the economy must grow. Demographic stagnation leads to technological stagnation, and continuous depopulation leads to technological regress. Analysis is extended to include diffusion of technology, which can lead to overseas population being a substitute for home population in regard to innovation and preservation of knowledge.

**Keywords:** scale effects, innovation, technological progress, stagnation, technological regress.

## 1. Wstęp

Niniejszy artykuł ma za zadanie zaproponować model formalizujący mechanizm międzypokoleniowej transmisji wiedzy w sposób pozwalający na wkomponowanie w nią ewentualnej utraty jej części, zachowując jednak endogeniczność innowacji w gospodarce, w szczególności dla gospodarek przednowożytnych. Utrata wiedzy ekonomicznie użytecznej jest rozumiana tylko jako utrata technik wartościowych, a więc takich, które przynajmniej w części zastosowań są wydajniejsze pod względem czynnika produkcji od innych<sup>1</sup>. Rozważany jest zatem wybór przyswajanej wiedzy przez młodsze pokolenie z alternatywą w postaci innowacji.

Choć dla współczesnych gospodarek utrata wiedzy tego rodzaju nie wydaje się być istotna, to jest ona bardzo ważna z perspektywy niemal stagnacyjnych technologicznie gospodarek przednowożytnych, dla których znane są też przypadki regresu technologicznego (por. [Aiyar i in. 2005]). Co więcej, ze względu na konstrukcję modelu wnioski z niego nie muszą ograniczać się do gospodarek przednowożytnych.

## 2. Model endogenicznego wzrostu

W tej części będzie rozważany model ukazujący dynamikę wiedzy ekonomicznie użytecznej między generacjami. Innowacja następuje, gdy nowa generacja przyswoi całą wiedzę generacji poprzedniej i prócz tego wytworzy nową. Ubytek wiedzy z kolei następuje pomiędzy generacjami, gdy generacja młodsza nie przyswaja części wiedzy generacji starszej. Czynnikiem produkcji dóbr finalnych są dobra pośrednie produkowane dzięki pracy i kapitałowi ludzkiemu<sup>2</sup>. Każde pokolenie może przyswoić sobie wiedzę poprzedników oraz wykorzystać okazje do innowacji. Innowacja technologiczna polega na poszerzeniu ilości rodzajów dóbr pośrednich, utrata technologii oznacza zaś zmniejszenie ich ilości.

Reprezentowanie technologii za pomocą zróżnicowania dóbr i technik produkcji a nie ich ulepszeń, ma długą tradycję w ekonomii wzrostu, sięgającą pierwszego modelu endogenicznej innowacji Romera [Romer 1990] i znajduje szerokie zastosowanie. Jest ona w pełni uzasadniona dla modelu generowania i utraty wiedzy, zarówno teoretycznie, jak i według danych historycznych. Ubytek wiedzy polega na zaniechaniu przyswojenia w przekazie międzypokoleniowym całej, uprzednio stosowanej i efektywnej, techniki produkcji jakiegoś dobra finalnego bądź pośredniego. Faktycznie takie procesy miały miejsce, jak choćby utrata umiejętności budowy łodzi przez mieszkańców Tasmanii. Alternatywna forma analizowania dynamiki technologii, polegająca na poprawie wydajności istniejących technik produkcji<sup>3</sup> i również

---

<sup>1</sup> Zapominanie technik niewydajnych nie jest uznawane za ubytek zaawansowania technicznego, por. [Mokyr 2002].

<sup>2</sup> Kapitał ludzki w tym ujęciu zawiera w sobie również pracę.

<sup>3</sup> Z ekonomicznego punktu widzenia jest to tym samym, co zastępowanie istniejących technologii nowymi, bardziej wydajnymi.

stosowana już w pierwszych modelach endogenicznej innowacji [Grossman, Helpman 1991; Aghion, Howitt 1992], nie znajduje tak dobrego zastosowania przy obrazowaniu utraty wiedzy między generacjami. Mogąc odrzucić dwie równie złożone techniki, biorąc za miarę złożoności ilość dóbr pośrednich używanych w produkcji dobra finalnego, odrzuci się mniej, a nie bardziej wydajną. Jeżeli zaś złożoność wydajniejszej jest większa, to można zobrazować ją za pomocą zróżnicowania, a nie jakości dóbr pośrednich.

Można oczekiwać, że model przeplatających się pokoleń jest naturalnym wyborem przy problemie przerwania międzygeneracyjnego przekazu wiedzy. Niemniej jest bardzo wątpliwe, aby człowiek, raz przyswoiwszy sobie pożyteczną ekonomicznie wiedzę, zapoznał ją całkowicie. Nawet w przypadku długiego braku praktyki wysiłek włożony w powrót do sprawności w jej stosowaniu będzie o wiele mniejszy niż nauczanie się jej od początku. Wobec tego ubytek w wiedzy ekonomicznie użytecznej będzie następować raczej w ramach przekazu międzygeneracyjnego. Jednakże ze względu na brak w sformułowanym modelu wyboru międzyokresowego, jako że podmioty decydują o przyswajaniu sobie technik produkcji i kapitału ludzkiego, będąc młodszymi, a pożytkują je, będąc starszymi, niestosowne byłoby nazwać ten model modelem przeplatających się pokoleń. Pokolenie starsze występuje w modelowanym problemie jedynie jako rezerwuuar wiedzy technicznej oraz potencjalnych innowacji, a także jako pokolenie pracujące i tym samym zapewniające bieżący dochód. Pokolenie młodsze znowuż decyduje wyłącznie o przyszłym dochodzie w oparciu o istniejącą wiedzę starszego pokolenia.

Przyjęte jest założenie, że generacja urodzona w okresie  $t$  składa się z  $L_t$  osób żyjących dwa okresy. Pierwszy poświęcają one na zdobycie wiedzy i umiejętności potrzebnych do produkcji, drugi zaś na aktywność ekonomiczną. Produkt wypracowany przez osoby będące w okresie  $t$  generacją starszą jest dzielony między obie grupy. Młodszy mogą przyswoić umiejętności wykorzystywane przez starsze pokolenie bądź spróbować innowacji. Zakłada się również, że w okresie aktywności zawodowej nie mogą się od siebie uczyć oraz że umiejętności nabywane są jednorazowo i nie podlegają udoskonalaniu w trakcie ich wykonywania.

Innowacja odbywa się poprzez wykorzystanie pewnej puli dostępnych pomysłów, będących funkcją istniejącej wiedzy. Można je rozumieć jako niewykorzystane jeszcze w produkcji przez poprzednie pokolenie pomysły techniczne. Osoba z młodszego pokolenia może zamiast uczenia się wykorzystywanej wiedzy rozwinąć taki pomysł, jednak ponosi wtedy wyższy koszt przyswojenia takiej wiedzy. Jest on wyższy z wielu powodów, przede wszystkim z racji niepełnego opracowania czy przetestowania pomysłu, ale również z racji braku nauczycieli, którzy mogliby przyspieszyć i ułatwić proces uczenia się. Co więcej, taka wiedza może się okazać nieużyteczna, i w takim przypadku koszt w modelu zawiera zdyskontowane ryzyko, że innowacja się nie powiedzie i trzeba będzie spróbować innej lub ponieść dodatkowo koszt przyswojenia istniejącej techniki produkcji. Ryzyko z tym związane będziemy uznawać za zawarte w koszcie jej przyswojenia. Jeżeli innowacje się pojawiają, to

wzrasta, obrazująca poziom technologii, różnorodność dóbr pośrednich. Zmiana demograficzna odbywa się według wzoru  $L_{t+1} = (1 + n)L_t$ , gdzie  $n$  to stopa przyrostu ludności. Wynika ona zarówno z endogenicznych preferencji, jak i z zewnętrznych ograniczeń typu maltuzjańskiego<sup>4</sup>.

## 2.1. Model

Wykorzystana funkcja produkcji to funkcja produkcji oparta na funkcji użyteczności Dixita-Stiglitz<sup>5</sup>, będąca zmodyfikowaną funkcją produkcji z modelu Davisa [Davis 2008]. Davis w swoim modelu zakłada doskonałą substytucyjność dóbr pośrednich,  $\delta = 1$ . Bezpośrednio z modelu Davisa jest również wzięta funkcja produkcji dóbr pośrednich oparta na pracy i kapitale ludzkim, opisana niżej. Produkt końcowy jest wytwarzany przy udziale kontinuum dóbr pośrednich  $x$  o mierze  $A_t$ , oznaczającej jednocześnie poziom technologii. Technologia jest tu definiowana jako zbiór używanych technik produkcyjnych, z których każda jest reprezentowana przez konkretne dobro pośrednie i jest w ten sposób używana do produkcji dobra finalnego. Pomijany jest udział przedsiębiorstw innych niż sami pracownicy, gdyż rynek pracy i płace niepotrzebnie komplikują model, a także ze względu na przypadki zaniku wiedzy w społecznościach, w których przedsiębiorstw z pewnością nie było, ale pojedyncze osoby z ich umiejętnościami być musiały. Funkcja produkcji dla krańcowej stopy substytucji dóbr pośrednich  $\delta$  ma postać:

$$Y_t = \left( \int_0^{A_t} x_i^\delta di \right)^{\frac{1}{\delta}}. \quad (2.1)$$

Zakłada się, że każdy pracujący w tej gospodarce wykonuje część zadań  $1 < v < A_t$ , alokując między nie zasoby czasu pracy  $l$  (por. [Davis 2008, s. 6]) według swojego zasobu kapitału ludzkiego. Zasób kapitału ludzkiego  $h$  jest alokowany między poszczególne składowe techniki produkcji już na etapie nauki i nie może być zmieniony, gdy pracownik jest już w grupie starszej, odpowiedzialnej za produkcję. Produkcja dóbr pośrednich odbywa się za pomocą czasu pracy i kapitału ludzkiego w następujący sposób:  $x_i = l_i^\beta h_i^\gamma$ , dający stałe efekty skali. Kapitał ludzki oznacza tu umiejętność wykonania przez pracownika dobra pośredniego, a zatem umiejętność wykonania zadania produkcyjnego. Im wyższy kapitał ludzki danej osoby dla danego zadania produkcyjnego, tym produktywniejszy jest pracownik w jego wykonywaniu. Jest on zatem przypisany nie tylko do konkretnej osoby, ale i do konkretnego zadania. Zakłada się, że zarówno praca, jak i kapitał ludzki są alokowane po równo między zadania produkcyjne, które dana osoba wykonuje, tak że  $l_i = l/v$  i  $h_i = h/v$ . Również przyjmuje się założenie, że między zadaniami produkcyjnymi

<sup>4</sup> Ograniczenia te nie są uwzględniane wprost w modelu, jako że nie jest to potrzebne do pokazania wpływu ujemnej dynamiki populacji na utratę wiedzy.

<sup>5</sup> Por. [Davis 2008, s. 4; Aiyar i in. 2005, s. 8]. Należy zauważyć, że często taka postać funkcyjna nie jest nazywana wprost funkcją Dixita-Stiglitz.

na etapie ich wykonywania nie istnieją synergije. Stąd  $x_i$  ma taką samą wartość dla każdego  $i$ . Wobec tego całkowita produkcja wytworzona przez pracownika wynosi:

$$y = \left( \int_0^A x_i^\delta di \right)^{\frac{1}{\delta}} = (v x_i^\delta)^{\frac{1}{\delta}} = v^{\frac{1}{\delta}} x_i = \frac{l^\beta h^\gamma}{v^{\beta+\gamma-1/\delta}}. \quad (2.2)$$

Przyjmijmy dla uproszczenia, że całkowity zasób ziemi, jak również czas pracy dostępny dla każdej osoby wynoszą 1. Wtedy:

$$y = \frac{h^\gamma}{v^{\beta+\gamma-1/\delta}}. \quad (2.3)$$

Jeżeli  $\beta + \gamma = 1$ , to zakres wykonywanych zadań nie miałby znaczenia dla uzyskiwanego dochodu, a więc korzyści ze specjalizacji nie istniałyby, co jest sprzeczne z obserwowaną rzeczywistością gospodarczą. Zauważmy, że korzyści ze specjalizacji istnieją dla  $\beta + \gamma > 1$ , a zatem dla produkcji dóbr pośrednich charakteryzującej się rosnącymi korzyściami skali. Wobec tego przyjęte zostaje  $\beta + \gamma > 1$ .

Należy zauważyć, że dla prostoty przyjęta funkcja produkcji prowadzi do dochodu niezależnego od poziomu zaawansowania technicznego. Jednakże dla gospodarki przednowożytnej jest to bardzo bliskie prawdzie uproszczenie (por. [Kremer 1993; Aiyar i in. 2005; Pacho 2013]), a w przypadku gospodarek o istotnym wpływie postępu technicznego na dochód na osobę można model zmodyfikować, by i to uwzględnił, bez utraty jego wniosków, gdyż kluczowa jest tu kwestia korzyści ze specjalizacji umiejętności.

Davis zauważa, że specjalizacja umiejętności jest ograniczana przez koszty transakcyjne [Davis 2008, s. 7]. W podstawowym rozumieniu są to koszty wymiany rynkowej, ale mogą to być również koszty funkcjonowania złożonych podmiotów gospodarczych. Jako że przedmiotem tego modelu nie są koszty transakcyjne, a zmiany zakresu technik produkcyjnych, przyjmuje się, że istnieje determinowany przez nie maksymalny poziom specjalizacji, tj. minimalny poziom  $v$ , dany z góry. Niech wynosi on  $\bar{v} < 1$ .

Aby posiadać jakiś zestaw umiejętności, osoba musi się go najpierw nauczyć, będąc częścią generacji młodszej. Niech uczenie się będzie związane z wysiłkiem wartościowanym ujemnie<sup>6</sup> oraz z faktycznym kosztem w dobrach czy czasie poświęcanym nauczaniu młodszych przez starszą generację, a także że ów wysiłek zależy zarówno od docelowego zasobu kapitału ludzkiego na koniec czasu nauki, jak i od poziomu specjalizacji. Niech wysiłek ten będzie równoznaczny z kosztem wycenianym w jednostkach dochodu  $c$ , tak że  $c = \theta h v$ , gdzie  $\theta$  jest dodatnim parametrem oznaczającym wynikającą z preferencji wycenę wysiłku związanego z nauką w jednostkach dochodu. Wybór zakresu wiedzy jest dokonywany na drodze maksymalizacji oczekiwanej różnicy między przyszłym zdyskontowanym dochodem a kosztem

<sup>6</sup> Za element tego wysiłku należy uznać również koszt alternatywny zdobywania wiedzy użytecznej ekonomicznie, chociażby w jednostkach użyteczności z czasu wolnego.

pozyskania wiedzy<sup>7</sup>. Ponieważ dochód jest związany ujemnie, koszt zaś pozyskania wiedzy dodatnio z zakresem posiadanych umiejętności, tak więc dla dowolnego poziomu kapitału ludzkiego młodsze pokolenie zawsze wybierze najwyższy możliwy poziom specjalizacji, czyli  $\bar{v}$ .

Młodsze pokolenie nie zakłada ani postępu, ani regresu technologicznego i maksymalizowane po  $h$  wyrażenie przyjmuje postać:

$$y - c = \frac{h^\gamma}{v^{\beta+\gamma-1/\delta}} - \theta h \bar{v}. \quad (2.4)$$

Różniczkując po kapitale ludzkim, otrzymujemy warunek pierwszego rzędu<sup>8</sup>:

$$\frac{\gamma h^{\gamma-1}}{v^{\beta+\gamma-1/\delta}} = \theta \bar{v}. \quad (2.5)$$

Stąd otrzymujemy wybierany poziom kapitału ludzkiego:

$$h = (\gamma/v^{\beta+\gamma-(1-\delta)/\delta}\theta)^{\frac{1}{1-\gamma}}. \quad (2.6)$$

## 2.2. Innowacja, stagnacja i regres w modelu

Ponieważ innowacja wiąże się z dodatkowym, relatywnie wysokim wysiłkiem, w przypadku gdy nic nie zakłóca osiągnięcia dochodu wynikającego z wyznaczonego powyżej poziomu kapitału ludzkiego, nie jest ona podejmowana. Jeżeli można być wyspecjalizowanym monopolistą w istniejącym zestawie zadań, nie ma motywacji, by ponosić dodatkowy koszt związany z aplikowaniem nowych technik produkcji, bez względu na to, czy wynika on z ryzyka, czy z niedopracowania tychże technik. Aby ta motywacja powstała, potrzebna jest sytuacja, w której wyuczony zestaw zadań nie pozwala wykonywać go w sposób monopolistyczny. Taka sytuacja ma miejsce, gdy liczba ludności przekracza zakres technologii podzielony przez zakres specjalizacji, tj.  $\bar{v}L_{t+1} > A_t$ .

W takiej sytuacji każdy przedstawiciel młodszego pokolenia będzie mieć nadal swoje umiejętności, reprezentowane przez kapitał ludzki, rozproszone między  $\bar{v}$  zadań produkcyjnych, natomiast wytwarzanie dóbr pośrednich z tego zakresu będzie musiał dzielić z innymi. Niech  $A_t = a\bar{v}L_{t+1}$ ,  $a \in (0; 1)$ . Pomimo iż specjalizacja umiejętności nie może przekroczyć  $\bar{v}$ , to członkowie młodszego pokolenia będą mogli w takiej sytuacji pracować wspólnie nad jakimś zakresem zadań produkcyjnych bądź podzielić się nimi. Ponieważ przyjęte zostało, że zakres dóbr pośrednich jest zmienną ciągłą, to będzie modelowany jako dalszy podział pracy. Dzięki temu ich

<sup>7</sup> Można zastosować w tym momencie wybór oparty na funkcji użyteczności z konsumpcji bądź dochodu, jednak przy standardowych założeniach o jej monotoniczności nie zmieniloby to wniosku, że osoby wybierające zakres swojej wiedzy wybiorą najwięszą możliwą specjalizację. Zmienilby się jedynie poziom wybieranego kapitału ludzkiego, ale zależności od parametrów modelu byłoby analogiczne.

<sup>8</sup> Jest to maksimum, gdyż druga pochodna wyrażenia  $y - c$  po  $h$  jest zawsze ujemna.

praca rozkłada się teraz na mniejszy zestaw zadań, ale kapitał ludzki już nie. Stanie się tak przede wszystkim ze względu na niedoskonałą substytucyjność dóbr pośrednich. W takiej sytuacji pokrywanie się części zakresów wykonywanych zadań prowadzi do względnej nadwyżki części dóbr pośrednich, a zatem do nieefektywności. Co więcej, wykonywanie mniejszego zakresu czynności może być korzystne ze względu na możliwość rezygnacji z części dóbr kapitałowych, potrzebnych do realizacji tych działań produkcyjnych, z których się rezygnuje, a które w samym modelu zostały pominięte.

Jeżeli dodatkowo przyjmie się dla uproszczenia, że zakresy posiadanych umiejętności pokrywają się symetrycznie dla wszystkich osób, tj. każdy dzieli  $1 - a$  swoich umiejętności z innymi, zaś  $a$  z nich posiada na wyłączność, to  $x_i = (l/a)_i^\beta h_i^\gamma$ , a w konsekwencji przy pracy znormalizowanej do jedności mamy z równania 2.2:

$$y = a^{1-\beta} \frac{h^\gamma}{v^{\beta+\gamma-1/\delta}}. \quad (2.7)$$

Ponieważ  $a < 1$ , dochód w takiej sytuacji jest niższy niż w przypadku, gdy każdy może być monopolistą w swoim zakresie umiejętności. Co więcej, przy takim dochodzie koszt pozyskiwania umiejętności szybciej przeważa nad korzyściami i optymalny poziom kapitału ludzkiego, który jest wybierany przez młodsze pokolenie, zmniejsza się do:

$$h = (\gamma a^{1-\beta} / v^{\beta+\gamma-(1-\delta)/\delta} \theta)^{\frac{1}{1-\gamma}}. \quad (2.8)$$

Istnieje wobec tego możliwość podniesienia oczekiwanego dochodu i zwrotu z uczenia się poprzez innowację – jest ona dla podmiotów możliwością pozyskania umiejętności, których na poziomie użytecznym ekonomicznie nikt inny nie będzie posiadać<sup>9</sup>, co prowadzi do podniesienia zakresu technologii i pozwala zbliżyć zakres wykonywanych zadań produkcyjnych do monopolistycznego. Przyjmijmy, że wysiłek konieczny do punktowej innowacji  $c_i$  wynosi  $c_i = (\theta + \rho)h$ , gdzie  $\theta$  to wprowadzony wcześniej parametr wyceniający wysiłek związany z nauką jako taką,  $\rho$  zaś oznacza zarówno dodatkowy koszt związany z większą trudnością nabycia umiejętności, których nikt praktycznie nie wykorzystuje, jak i ryzyko, że innowacja nie będzie przynosić ekonomicznych korzyści. Jednakże jeśli zamiast innowacji uczyć się istniejącej techniki produkcyjnej, to koszt  $\theta h$  i tak zostanie poniesiony. Wobec tego rzeczywisty koszt innowacji względem uczenia się istniejącej technologii wynosi  $\tilde{c}_i = \rho h$ . Niech  $b\bar{v}$  oznacza całkowity zakres innowacji, jaki przeprowadzi konkretna osoba z młodszego pokolenia. Zauważmy, że  $b \in [0; 1 - a]$ , ze względu na to, że  $\bar{v}$  jest optimum specjalizacji, a w zakresie  $a\bar{v}$  zadań produkcyjnych monopol i tak jest dostępny i nie trzeba ponosić kosztu innowacji. W takim razie całkowity koszt innowacji wynosi  $\tilde{c} = \rho h b \bar{v}$ . Ponieważ oczekiwany poziom wybranego kapitału ludzkiego zależy od  $a$  i  $b$ , to:

<sup>9</sup> W szczególności będzie to starsze pokolenie, które może mieć jedynie podstawy teoretyczne tej wiedzy bądź niezrealizowane pomysły.

$$y = (a + b)^{\frac{1-\beta}{1-\gamma}} \frac{(\gamma/v^{\beta+\gamma-(1-\delta)/\delta}\theta)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}}}{v^{\beta+\gamma-1/\delta}}. \quad (2.9)$$

Koszt innowacji wynosi wtedy:

$$\tilde{c} = \rho b \bar{v} (\gamma(a + b)^{1-\beta} / v^{\beta+\gamma-(1-\delta)/\delta} \theta)^{\frac{1}{1-\gamma}}. \quad (2.10)$$

Wobec tego optymalny poziom innowacji  $b$  zależy od krańcowego przyrostu oczekiwanego dochodu i krańcowego kosztu innowacji względem  $b$ . Wielkości te wynoszą odpowiednio:

$$\frac{dy}{db} = \frac{1-\beta}{1-\gamma} (a + b)^{\frac{\gamma-\beta}{1-\gamma}} \frac{(\gamma/v^{\beta+\gamma-(1-\delta)/\delta}\theta)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}}}{v^{\beta+\gamma-1/\delta}}. \quad (2.11)$$

oraz

$$\frac{d\tilde{c}}{db} = \rho \bar{v} \left( \frac{\gamma(a+b)^{1-\beta}}{v^{\beta+\gamma-\frac{1-\delta}{\delta}}\theta} \right)^{\frac{1}{1-\gamma}} + \frac{1-\beta}{1-\gamma} \rho b \bar{v} \left( \frac{\gamma(a+b)^{\gamma-\beta}}{v^{\beta+\gamma-\frac{1-\delta}{\delta}}\theta} \right)^{\frac{1}{1-\gamma}}. \quad (2.12)$$

Możliwe są trzy przypadki. W pierwszym z nich już dla  $b = 0$  krańcowy koszt innowacji jest równy bądź przewyższa krańcowy przyrost oczekiwanego dochodu. Wtedy żadna innowacja nie jest podejmowana – postrzegany koszt innowacji jest zbyt wysoki przy danym poziomie zachodzenia na siebie zakresów specjalizacji. Drugą możliwością jest, że dla  $b = 1 - a$  krańcowa korzyść z innowacji mierzona krańcowym oczekiwanym dochodem byłaby równa bądź przewyższałaby krańcowy koszt. Wtedy wybierany jest poziom innowacji  $b = 1 - a$ ; jak założyliśmy wcześniej, optymalny zakres posiadanych umiejętności wynosi  $\bar{v}$  i wychodzenie poza niego dzięki innowacji nie przynosi korzyści, czego równanie 2.7 nie uwzględnia. Ostatnim przypadkiem jest, gdy korzyści netto z innowacji istnieją dla  $b = 0$ , ale nie dla  $b = 1 - a$ . Ponieważ zarówno krańcowa oczekiwana korzyść z innowacji, jak i krańcowy jej koszt są ciągłe i monotoniczne, to w takim przypadku istnieje dokładnie jedna taka wartość  $b^* \in (0; 1 - a)$ , dla której krańcowy koszt i krańcowa korzyść się zrównują i wybierany jest poziom innowacji  $b^*$ . W konsekwencji  $A_{t+1} = (a + b^*)\bar{v}L_{t+1} = (1 + b^*/a)A_t$ . Proces ten trwa tak długo, jak długo  $\bar{v}L_{t+1} > A_t$ .

Jak zauważono wcześniej, innowacja w tym modelu nie wystąpi w sytuacji, gdy żadna osoba z młodszego pokolenia nie będzie miała problemu ze zdobyciem zakresu umiejętności  $\bar{v}$ , w którym byłaby monopolistą. Wtedy musi zachodzić  $\bar{v}L_{t+1} \leq A_t$ . Jeżeli zachodzi równość, to zakres istniejącej technologii dokładnie pokrywa się z sumą zakresów specjalizacji podmiotów. W takim razie technologia nie ulega zmianie i wszystkie używane techniki produkcyjne są skutecznie przekazywane młodszemu pokoleniu, tak że  $A_{t+1} = A_t$ . Mamy więc do czynienia ze stagnacją technologiczną.

Natomiast jeśli  $\bar{v}L_{t+1} < A_t$ , to młodszemu pokoleniu, wybierając zakres zadań produkcyjnych do nauczenia się, nadal wybierze maksymalny możliwy poziom specjali-



zacji  $\bar{v}$ , ponieważ jak zauważono wcześniej, maksymalna możliwa specjalizacja jest korzystna bez względu na poziom technologii czy kapitału ludzkiego. Wobec tego zakres używanej technologii wyniesie  $A_{t+1} = \bar{v}L_{t+1}$ , a więc zmniejszy się w stosunku do tego w poprzednim pokoleniu. Ponieważ założyliśmy że wiedza jest przekazywana tylko z pokolenia na pokolenie, to wiedza, której młodsze pokolenie się nie nauczy, zostaje w takiej sytuacji utracona. Tak więc następuje utrata wiedzy równa różnicy  $A_t - \bar{v}L_{t+1}$ . Zaistniały regres technologiczny jest spowodowany zbyt małą liczebnością młodszej generacji względem zakresu zadań produkcyjnych w gospodarce – są one porzucane, aby zachować specjalizację umiejętności i korzyści z niej płynące. Wpływ utraty technologii na ogólną produktywność nie jest przez podmioty brany pod uwagę, gdyż nie wpływa na ich dochód. Sytuację taką można uznać za jednoznacznie z jednorazowym, trwałym ubytkiem ludności, jednakże ograniczonym do młodszego pokolenia.

Przyjrzyjmy się teraz, jak trwała dynamika ludności wpływa na zmianę technologii. Jeżeli ludność przyrasta, tj. stopa przyrostu ludności  $n > 0$ , to w długim okresie mamy do czynienia z postępowaniem technologicznym. Dla policzenia jego tempa przyjmijmy, że początkowo ludność i technologia były w stanie stagnacji, tak że  $A = \bar{v}L$ . Jeżeli ludność zacznie wzrastać w tempie  $n$ , to będziemy mieć w kolejnym okresie  $\bar{v}L_{t+1} = \bar{v}(1+n)L_t > A_t$ . Możemy stąd wyprowadzić

$$a = A_t / \bar{v}L_{t+1} = \frac{1}{1+n}. \quad (2.13)$$

Jeżeli  $b^* = 1 - a$ , to  $A_{t+1} = \bar{v}L_{t+1} = (1+n)A_t$ , a zatem technologia przyrasta w tempie takim samym jak populacja. W przypadku  $b^* = 0$  mamy do czynienia ze stagnacją, która jednak może zostać przerwana w następnych okresach, jako że bez innowacji  $a$  będzie maleć w postępie geometrycznym, odpowiadającym odwrotności dynamiki populacji, a zatem może pojawić się nowy punkt przecięcia oczekiwanego krańcowego dochodu z krańcowym kosztem innowacji. Jeżeli natomiast początkowo  $0 < b^*(a) < 1 - a$ , to innowacja postępuje, ale wolniej od przyrostu populacji. W takim wypadku  $a$  asymptotycznie zbiega do zera, a  $b^*(a)$  do  $\hat{b} = b^*(0)$ . W ten sposób ruch poziomu technologii zbiega do  $A_{t+1} = \hat{b}\bar{v}L_{t+1}$ , a więc technologia i ludność rosną proporcjonalnie, zatem tempo postępu technicznego rośnie asymptotycznie do  $n$ . Tym samym model wykazuje słabe efekty skali na polu innowacji – gospodarki szybciej zwiększające swój rozmiar mogą również okazać się bardziej innowacyjne (por. [Jones 2004]).

Jeżeli  $n < 0$ , to wychodząc od sytuacji, w której  $A = \bar{v}L$ , mamy co generację  $\bar{v}L_{t+1} = \bar{v}(1+n)L_t$ . Ponieważ dynamika liczby ludności jest ujemna,  $A_{t+1} = \bar{v}(1+n)L_t = (1+n)A_t$ , a więc technologia doznaje stałego regresu w tempie identycznym z tym, w jakim następuje ubytek ludności. Dla przypadku  $n = 0$ , o ile wyjdziemy od poziomu technologii takiego, że  $A = \bar{v}L$ , nie następują żadne zmiany – co generację odtwarza się tak samo liczna populacja, dysponująca identycznym zestawem technik produkcji. Wobec tego można stwierdzić, że dla dowolnego  $n$  tempo

zmiany technologii jest mu równe bądź zbiega do niego asymptotycznie. Inne niż  $A = \bar{v}L$  sytuacje początkowe nie wpływają na ten rezultat w długim okresie – jeżeli zaczynamy w sytuacji niedoboru bądź nadmiaru technologii względem potrzeb młodszego pokolenia, to innowacja bądź porzucanie wiedzy doprowadzi modelowaną gospodarkę do stanu dostatecznie bliskiego  $A = \bar{v}L$ , by dynamika ludności odgrywała dominującą rolę przy determinowaniu zmian w technologii.

Dodatkowo stagnacja demograficzna jest sytuacją, w której bez względu na początkowy potencjał do innowacji wprowadzanie nowych technik ustanie. Jeżeli jednak początkowo technik produkcyjnych było więcej niż chętnych do nauczenia się ich, to niemalejąca populacja w końcu wyhamuje regres technologiczny. Istotnie, przy stałej ludności malejący poziom technologii w końcu osiągnie  $A_t = \bar{v}L_t$ . Stąd wynika, że aby utrzymać technologię na poziomie nie mniejszym niż zadany, ludność nie może spaść poniżej pewnej liczebności, liniowo zależnej od tego poziomu technologii. Istotnie, jeżeli ludność spadnie poniżej takiego poziomu, to z czasem pociągnie technologię za sobą, aż do nowej równowagi. Z drugiej strony, jeśli ludność pozostaje niezmienną, to technologia nie może przekroczyć poziomu, dla którego zachodzi tenże liniowy związek między jej poziomem a ową stałą liczbą ludności. Można taki poziom ludności nazwać koniecznym do utrzymania technologii na danym poziomie. Zależność taką można zapisać wzorem  $\bar{L}(A) = f(A)$ , gdzie  $\bar{L}$  jest ową konieczną liczbą ludności, a  $f$  ciągłą i rosnącą funkcją technologii. W rozważanym dotychczas modelu  $\bar{L}(A)$  jest ilorazem poziomu technologii i zakresu specjalizacji podmiotów.

### 3. Rola dyfuzji technologii

Należy zaznaczyć, że takie rozważanie wpływu ubytku ludności jest ściśle tylko w społeczności izolowanej. W społeczności, która nie jest izolowana, kontakty handlowe pozwalają na podział procesów produkcyjnych między społeczność i zagranicę, tak że zmniejszenie liczebności społeczności może nie mieć żadnego wpływu na specjalizację produkcji. Podobnie jest z wiedzą teoretyczną – jak długo istnieje kontakt między gospodarkami, tak długo wiedza techniczna i naukowa mogą się między nimi rozprzestrzeniać za pomocą kontaktów ludzi, a także poprzez wymianę dóbr i narzędzi jako artefaktów technologii. Nawet w przypadku całkowitego braku czy niewielkiej bezpośredniej wymiany dóbr i usług kontrakt może pozwalać na łatwe ponowne pozyskanie wiedzy, którą utracono, poprzez imitację. Można natomiast obszar  $K$  izolowanych gospodarek traktować jako jedną, złożoną gospodarkę, z efektywną liczbą ludności postaci:

$$\hat{L} = \sum_i^K L_i w_i, \quad (3.1)$$

gdzie  $L_i$  to liczby ludności poszczególnych gospodarek, a  $w_i \in (0; 1)$  to współczynniki odzwierciedlające siłę integracji konkretnych gospodarek w ramach całego ob-

sza. Im mniej samowystarczalna ekonomicznie jest społeczność i im częstszy kontakt i wymiana wiedzy między nią a innymi, tym większe  $w_i$ . Gdyby  $w_i = 0$ , to między gospodarką a obszarem nie zachodziłby żaden kontakt i należy ją pominąć. Gdyby  $w_i = 1$ , to dana gospodarka byłaby w pełni zintegrowana z całym obszarem, niemniej taki przypadek należy uznać za rzadki. Istotnie, trudno sobie wyobrazić gospodarkę analizowaną jako oddzielna, w której żaden proces produkcyjny nie przebiega w całości wewnątrz niej. Można również równanie 3.1 zapisać w postaci:

$$\hat{L} = \hat{w} \sum_i^K L_i, \quad (3.2)$$

gdzie  $\hat{w} = f(w_i L_i)$ ,  $i \in \overline{1, K}$ ,  $\hat{w} \in (0, 1]$  jest miarą wewnętrznej integracji dla całego obszaru, interpretowaną tak samo jak współczynniki integracji dla poszczególnych gospodarek. Dokładnie im bardziej zintegrowany obszar, tym ściślej ekonomicznie powiązane tworzące go gospodarki i tym bardziej rozpowszechnione są w nim techniki produkcji. Ponadto w przypadku postępu technicznego w bardziej zintegrowanym obszarze techniki produkcji będą szybciej się rozprzestrzeniać.

W tej postaci można łatwo zauważyć, że nie musi nastąpić rzeczywisty ubytek liczby ludności, by nastąpiły trudności w uzyskiwaniu korzyści specjalizacji. Istotnie, spadek stopnia zintegrowania  $\hat{w}$  takiego izolowanego obszaru gospodarczego jest dla efektywnej liczby ludności ekwiwalentem spadku liczby ludności i w związku z tym powoduje te same konsekwencje, co spadek rzeczywistej liczby ludności. Tak więc ograniczenie możliwości specjalizacji i w konsekwencji ubytek wiedzy, opisane wcześniej, mogą być skutkiem także zmniejszenia stopnia integracji izolowanej grupy gospodarek.

Ponadto sama częściowa izolacja może się przyczyniać do zmniejszenia możliwości specjalizacji w przypadku społeczności autarkicznych, a więc o  $w_i$  bliskim zeru<sup>10</sup>. W przypadku takiej gospodarki, pomimo pewnych możliwości przyswojenia wiedzy z zewnątrz, większość produkcji dóbr i usług musi odbywać się wewnątrz niej. W takim razie, aby korzystać z całości dostępnej technologii, podmioty w tej gospodarce musiałyby wykonywać zdecydowaną większość znanych procesów produkcyjnych, skoro możliwości sprowadzenia ich spoza gospodarki są ograniczone. W takich warunkach, jeśli gospodarka jest dostatecznie mała, to może dojść do ograniczenia specjalizacji ze względu na rozmiar gospodarki. Jeżeli ograniczenia wystąpią w wyniku zaniechania kontaktów gospodarczych z pozostałymi gospodarkami obszaru, to nastąpi zmniejszenie możliwości specjalizacji. Jeśli będzie ono dostatecznie silne, to w sposób opisany wcześniej doprowadzi do zaniechania wykorzystywania wiedzy i porzucenia wiedzy w ramach międzypokoleniowego przekazu. Tak więc rezygnacja z międzypokoleniowego przekazu wiedzy będzie następować

<sup>10</sup> Nie ma przy tym znaczenia, czy owa izolacja ma przyczyny przyrodnicze, czy ludzkie. Ma to znaczenie jedynie dla możliwości wyjścia z niej – w przypadku przyczyn przyrodniczych może to być niewykonalne.

zarówno w przypadku faktycznego ubytku ludności w gospodarce, jak i w wypadku efektywnego ograniczenia liczby ludności w gospodarce wskutek zmniejszenia stopnia integracji wewnątrz obszaru ekonomicznego, lub popadnięcia części obszaru w izolację.

#### 4. Podsumowanie

W ramach rozważań przedstawionego modelu uzyskana została liniowa zależność między postępowaniem technicznym a tempem zmiany demograficznej w ramach przyjętych założeń. Co istotne, występuje ona nie tylko dla dodatnich temp przyrostu liczby ludności, ale również dla temp niedodatnich (por. [Jones 2004]). W szczególności model przewiduje stagnację technologiczną dla sytuacji stagnacji demograficznej oraz ciągły regres technologiczny dla sytuacji ciągłej depopulacji. Sytuację technologiczną mogą w takich niekorzystnych warunkach uratować kontakty z zagranicą, przede wszystkim handlowe, i przerzucić część kosztu utrzymania poziomu technologii za granicę przez podział zadań produkcyjnych.

Czynnikami mającym kluczowe znaczenie są korzyści ze specjalizacji umiejętności wraz z ograniczeniem możliwości specjalizacji. Motywują one podmioty do dążenia do uzyskania maksymalnego możliwego poziomu specjalizacji celem maksymalizacji dochodu. Konsekwencją rozmiaru gospodarki przewyższającego potrzebny do najwyższej możliwej specjalizacji wszystkich podmiotów jest wystąpienie potencjału do innowacji. Celem innowacji jest w tym wypadku zwiększenie wyspecjalizowania swojego kapitału ludzkiego w tym sensie, by możliwie mało pokrywał się on z wiedzą innych. Z kolei gospodarka o rozmiarze większym niż potrzebny do najwyższej możliwej specjalizacji podmiotów prowadzi do rezygnacji z przyswojenia części wiedzy, gdyż oznaczałoby to konieczność zmniejszenia swojej specjalizacji i obniżenia dochodu. Tym samym podmioty będą wolały utracić część wiedzy poprzedniego pokolenia niż ją przyswoić, nie tylko ponosząc wyższy koszt edukacji, ale i oczekując niższego dochodu w przyszłości. Należy zaznaczyć, że wnioski te będą prawdziwe zarówno dla gospodarek przednowożytnych, jak i nowożytnych.

Model spełnia zatem swój cel, pokazując potencjalny mechanizm utraty wiedzy w gospodarce, w szczególności gospodarce przednowożytnej. Predykcje modelu wydają się być zgodne ze stylizowanymi faktami postępu technicznego w długich okresach (por. [Kremer 1993; Jones 2004]), a więc z liniową zależnością temp postępu demograficznego i technologicznego, przynajmniej dla dużych, pozostających w izolacji obszarów gospodarczych. Analiza stagnacji eksperymentów naturalnych, takich jak przypadek Tasmanii [Diamond 1993], również może potwierdzać jego predykcje.

Model może zostać uzupełniony o elementy lepiej dopasowujące go do szerszego spektrum gospodarek, w szczególności by uwzględnił istotną rolę postępu technicznego dla poziomu dochodu na osobę, jak również można model ściślej skonfrontować

z eksperymentami naturalnymi w gospodarkach przednowożytnych, skutkującymi analizowanymi w modelu niedodatnimi dynamikami demograficznymi.

## Literatura

- Aghion P., Howitt P., 1992, *A model of growth through creative destruction*, *Econometrica*, vol. 60, s. 323–352.
- Aiyar S., Dalgaard C.J., Moav O., 2005, *Technological progress and regress in pre-industrial times*, *Journal of Economic Growth*, vol. 2, s. 125–144.
- Davis L., 2008, *Scale effects in growth: A role for institutions*, *Journal of Economic Behavior and Organization*, Elsevier, vol. 66, s. 403–419.
- Diamond J., 1993, *Ten thousand years of solitude*, *Discover Magazine*, March.
- Grossman G., Helpman E., 1991, *Innovation and Growth in the Global Economy*, MIT Press, Cambridge.
- Jones Ch., 2004, *Growth and ideas*, [w:] *Handbook of Economic Growth*, draft chapter, version 2.0, Department of Economics, U.C. Berkeley.
- Kremer M., 1993, *Population growth and technological change: one million B.C. to 1492*, *Quarterly Journal of Economics*, vol. 108(3), s. 681–716, August.
- Mokyr J., 2002, *The Gifts of Athena: Historical Origins of the Knowledge Economy*, Princeton University Press, Princeton.
- Pacho W., 2013, *Stagnacja gospodarcza i innowacje techniczne w okresie przedindustrialnym*, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa.
- Romer P., 1990, *Endogenous technological change*, *Journal of Political Economy*, vol. 98(5), s. 71–102, October.