
Marek Szydłowski, Paweł Tambor

Naukometryczne podstawy dla ekonomicznych modeli wzrostu gospodarczego

Streszczenie

Przedmiotem wykładu są modele naukometryczne akumulacji wyników naukowych. Modele te są sformułowane w terminach układów dynamicznych, które opisują ich możliwe scenariusze ewolucyjne dla wszystkich możliwych warunków początkowych. Językiem opisu ewolucji układu staje się przestrzeń wszystkich możliwych stanów układu (przestrzeń fazowa). Demonstrujemy, jak modele te wyjaśniają empiryczne prawo deSolla-Price'a eksponencjalnego wzrostu wyników naukowych.

W modelach teorii wzrostu gospodarczego wprowadza się pojęcia wiedzy i kapitału ludzkiego. Chociaż wiedza jest rozumiana bardzo szeroko, nauka i postęp techniczny stanowią jej bardzo istotny element. W modelach tych zakłada się, że wiedza rośnie w czasie według stałej stopy, t.j. zakłada się *implicite* modele jej wzrostu. Podkreślamy, że bardzo realistyczne modele wzrostu gospodarczego z wiedzą i kapitałem ludzkim powinny bazować na modelach dynamicznych oferowanych przez naukometrikę. W pracy dyskutujemy przegląd różnych modeli dynamicznych występujących w literaturze oraz wprowadzamy w sposób elementarny matematyczne tło dla ich analizy.

1. Wstęp

Naukometria jest niezwykle interesującym obszarem badań; chociażby dlatego, że do badania fenomenu nauki używa się metod samej nauki. Jej ukonstytuowanie jako nauki, jak podkreśla Loet Leydesdorff [1], nie miało charakteru rewolucji naukowej, lecz było wynikiem wewnętrznego procesu wynikającego z prowadzonych badań naukowych. Podkreśla on, że sam fakt wykorzystania metody naukowej do badania jej samej stanowi bardzo specyficzne samookreślenie badawcze nauki. Oczywiście nie istnieje tutaj żaden konflikt z filozofią nauki,

jako operującą swoim własnym językiem i metodami, chociaż w obu przypadkach są to metanauki. Wydaje się nam jednak, że naukometryka jest bliższa temu, co nazywamy dzisiaj modelowaniem naukowym (*science modeling*), gdzie nauka jest traktowana jako pewien układ złożony, podlegający ewolucji, który da się modelować modelem układów złożonych.

Ewolucyjna (albo dynamiczna) naukometria stawia sobie za cel wyjaśnianie i opis procesu rozwoju nauki na podstawie badania wytworów naukowych – publikacji. Stąd jej wyniki będą pozostawać w bliskim związku z wynikami tzw. obliczeniowej teorii poznania (komputacyjnej).

Wydaje się, że w badaniach i podejściach do fenomenu nauki powinien obowiązywać „pluralizm podejść”, a w tym momencie stają się ważne, co interesującego wnoszą różne proponowane podejścia; na ile wyjaśniają one pewne zjawiska obserwowalne w naukę, etc.

Ważność badań naukometrycznych posiada również swoje uzasadnienie praktyczne. Obecnie jest ona działem gospodarki, którym należy zarządzać. W tym momencie rodzą się pytania, co powinniśmy finansować: badania podstawowe, czy też wynalazki i patenty; jak optymalizować (sterować) procesem rozwoju nauki.

Istnieje również teoretyczny związek pomiędzy modelami makroekonomicznymi w ramach tzw. teorii wzrostu gospodarczego a modelami naukometrycznymi. Jeśli bowiem zgodzimy się, że nauka i związany z nią postęp techniczny stanowią element wiedzy, w którą wyposażamy kapitał ludzki (np. „produkowany” na uniwersytetach), to na tych modelach należy oprzeć modele wzrostu gospodarczego. Model Solowa z wiedzą stanowi punkt wyjścia każdej analizy wzrostu, lecz w nim przyjmuje się aprioryczne założenie, że wiedza rośnie w tzw. tempie eksponencjalnym $A(t) \propto \exp(\alpha t)$, $\alpha = \text{const}$, t.j. według stałej stopy. Z drugiej strony z badań brytyjskiego historyka nauki i fizyka Dereka deSolla-Price’a [2, 3] wynika, że proces akumulacji wyników naukowych również posiada taki charakter (eksponencjalny). Rodzi się naturalnie pytanie o związek stałego tempa wzrostu wiedzy w modelach makroekonomii dynamicznej ze stałym tempem wzrostu wyników naukowych.

2. Naukometria – uwagi ogólne

Naukometria jako samodzielna dyscyplina wyłoniła się z naukoznawstwa [4], kładąc nacisk na pomiar stosunkowo wcześniej, bo w latach trzydziestych ubiegłego wieku¹. Duży udział w rozwoju naukometrii odegrało czasopismo

¹ Nazwa naukometria została wprowadzona przez W.W. Nalimowa [5].

poświęcone tym zagadnieniom, które do tej pory stanowi forum dla prezentacji światowych wyników badań modelowania rozwoju nauki².

„Ważnym wydarzeniem otwierającym możliwość pomiaru nauki” było zorganizowanie przez E. Garfielda w Kaliforni *Instytutu Informacji Naukowej* i w roku 1961 przystąpił on do przygotowania indeksu cytowań (*Science Citation Index*, w skrócie SCI), który okazał się później niezwykle użytecznym narzędziem badawczym.

Oczywiście proces rozwoju nauki (i na tym polega pluralizm podejść meta-naukowych) może być badany w ramach różnych modeli. Nalimow i Mulczenko [5] wyróżnia następujące kategorie modeli różnicowane przez aspekty badań i środki osiągania celów:

1. Modele informacyjne. Nauka jest traktowana jako układ samoorganizujący, sterowany poprzez własne strumienie informacyjne. Rozwój nauki polega na rozwoju strumieni informacyjnych.
2. Modele logiczne. Nauka jest traktowana jako proces logicznego rozwoju idei. W takim podejściu ważny staje się problem logicznej klasyfikacji nauki.
3. Modele teorio-poznawcze (gnozeologiczne). W tym schemacie interesujemy się metodologią badań naukowych. Głównymi problemami stają się: rola matematyki, hipoteza i eksperyment; matematyczna rola eksperymentu (statystyczne metody analizy danych eksperymentalnych, matematyczne metody planowania eksperymentu).
4. Modele ekonomiczne. W tym podejściu bada się wzajemne oddziaływania nauki z procesem wzrostu gospodarczego. Ważne staje się wypracowanie ocen efektywności ekonomicznej badań naukowych.
5. Modele praktyczne. W tym podejściu bada się związek między nauką a prestiżem politycznym czy też jej znaczeniem z punktu widzenia potencjału militarnego.
6. Modele socjologiczne. W tym schemacie poznawczym zbiór pracowników naukowych jest traktowany jako grupa społeczna i stąd prosta droga do aplikacji metod socjologicznych. W tym momencie warto wspomnieć o fundamentalnym dziele D.K. Price’a [6].
7. Model demograficzny. Potencjał naukowy kraju jest badany jako pewne zagadnienie demograficzne. Interesuje nas, jaka jest dynamika wzrostu populacji uczonych.
8. Model pracownik naukowy – twórczo aktywne indywiduum. Bada się tutaj problemy z dziedziny psychologii twórczości naukowej.

² Scientometrics An International Journal for all Quantitative Aspects of the Science of Science Policy, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam – Oxford – New York; Scientometrics, Akademiai Kiadó, Budapest, <http://www.kluweronline.com/issn/0138-9130>.

9. Model nauki jako układu sterowalnego. W tym podejściu nauka jest traktowana jako pewien układ podlegający procesowi sterowania. Tutaj istotnymi problemami są problemy optymalnej organizacji nauki, zastosowanie metod badań operacyjnych dla organizacji badań naukowych. Wykorzystane są metody optymalnego sterowania dynamicznego [7].
Dobłą ilustracją miejsca, jakie zajmuje scientometryka w „świecie nauki” jest poniższa 3-wym. Przestrzeń [1, s.4].

Rys. Badania naukowe jako proces wielowymiarowy



Naukometrikę odnajdujemy na płaszczyźnie *uczeni — prace*.

Wzdłuż 3 wymiarów wyróżniamy badania z różnych poziomów agregacji. Przykładowo, słowa są zorganizowane w tekstach, artykułach naukowych w naukowych czasopismach, czasopisma należą do archiwów, naukowcy tworzą grupy badawcze, które z kolei przynależą do społeczności naukowych. Dalej, wiedza opiera się na teoriach, które są zanurzone w dyscyplinach (możemy dodać więcej wymiarów niż 3 wyróżnione na rysunku).

W dalszej części skoncentrujemy uwagę na modelach pierwszej kategorii – informacyjnych. W tym obszarze modeli procesy naukometryczne mogą być badane w dwóch aspektach: dynamicznym oraz statycznym. Gdy interesujemy się dynamiką strumieni informacyjnych, naturalnym staje się aplikacja metod jakościowej teorii równań różniczkowych, zwanej też teorią układów dynamicznych. Natomiast, gdy interesują nas procesy informacyjne w relacji do uczonych jako takich naturalne staje się zastosowanie metod statystycznych [8].

Rozdział następny będzie poświęcony badaniom modeli przy pomocy układów dynamicznych, t.j. analizie ścieżek ewolucyjnych i ich stabilności. Ten obszar naszych zainteresowań będziemy określać mianem dynamicznej naukometrii (*dynamical scientometrics*).

3. Rozwój nauki w schemacie układów dynamicznych

Naukę będziemy traktować jako pewien proces rozgrywający się w czasie, który w naturalny sposób podlega jakościowym badaniom przy pomocy metod powszechnie stosowanych w biologii, chemii czy fizyce. Z chwilą, gdy udało się nam sformułować problem, możemy użyć tych metod do jego rozwiązania. Taki punkt widzenia w pop-perowskiej filozofii nauki określa problemy jako pierwotne, czyli mające swoją egzem-plifikację w stawianych pytaniach. Proponowane sposoby ich rozwiązania stanowią taką próbę „zmierzenia się” z problemem, która jest sensowna, o ile odpowiada na rzeczywisty problem, a nie problem wygenerowany przez nią samą [9, s. 118-131] (por. [10, s. 174-175]).

Jest to oczywiście ujęcie efektywne, w którym nauka zostaje zredukowana do pewnego procesu informacyjnego – otrzymania nowej informacji. Ten proces posiada charakter kolektywny, tzn. zakładamy, że każda praca naukowa bazuje już na zbiorze wcześniejszych i zawartych w nich idei, metod, etc. Nowa praca naukowa to taka, która wnosi „element nowości” otrzymany w drodze „wysiłku indywiduum”, czy też będąca wynikiem przemyśleń wcześniejszych prac.

Naukę, traktujemy jako układ samoorganizujący, którego ewolucja jest determinowana poprzez strumienie informacyjne. Jeśli traktujemy naukę jako proces informacyjny, to naturalnym staje się monitorowanie jej ewolucji przy pomocy publikacji, które traktujemy jako nośniki informacji. Oczywiście jest to redukcjonistyczny punkt widzenia. Zakładamy bowiem „papierowy” model nauki (*paper model of science*). W takim ujęciu prace opublikowane danego autora, będą mierzyć jego wkład do rozwoju nauki. Jeśli uświadomimy sobie, że uczeni pozostają pod silną presją publikowania, t.j. imperatywu *publish or die* [11], to liczba publikacji nie musi być adekwatną miarą układu. Tym niemniej możemy jej użyć jako wskaźnika monitorującego, który jest jednym z wielu innych. Możemy sobie wyobrazić, że istnieje jakaś wielkość określająca stan nauki, którą rozumiemy bardzo ogólnie i abstrakcyjnie, a dla której istnieje wiele wskaźników. Jest to częsta procedura stosowana w naukach społecznych. Innym wskaźnikiem, już lepiej opisującym rozwój nauki mógłby być wskaźnik ilościowo – jakościowy, t.j. liczba cytowań danej pracy czy też ostatnio bardzo popularny h – index definiowany jako h praca o indeksie cytowań większym, bądź równym h .

W konstrukcji dynamicznych modeli nauki, jak zobaczymy dalej, ogromną rolę odgrywa analogia. Wykorzystuje się ją do opisu w biologii i ekologii, fizyce, ale także w ekonomii. Intencją wykorzystania modeli dynamik z odległych dzie-

dzin jest wzbogacenie języka opisu procesów ekonometrycznych oraz dostrzeżenie nowych perspektyw badawczych.

Niezwykle interesującą perspektywę badawczą roztaczają W.E. Herfel i C.A. Hooker – członkowie grupy badawczej CASRG (*Complex Adaptive Systems Research Group*) [12]. Zwracają oni uwagę na możliwość opisu procesu czasowej ewolucji nauki w terminach układów dynamicznych oraz układów złożonych. Autorzy poddają krytyce koncepcję redukcjonizmu logicznego, zarzucając mu nieadekwatność generującą w rezultacie błędny zbiór problemów³.

Jako bardzo adekwatny opis proponują model układów dynamicznych – nieliniowych, posiadających swoje odpowiedniki w opisie organizmów żywych. Zdaniem Herfela i Hookera nauka jest systemem składającym się z indywiduów – naukowców, którzy oddziałują na innych oraz jednocześnie podlegają ich oddziaływaniu, co czyni proces nieliniowym. Układ, jakim jest nauka, podlega różnego typu ograniczeniom, np. o charakterze instytucjonalnym (procedury laboratoryjne, *publish or perish*, kryteria oceny prac badawczych, etc.). Tworzą one swoiste więzy na jej rozwój, który jest subsydiowany przez podatników. Układ ten znajduje się permanentnie w stanie dalekim od równowagi, co otwiera możliwości powstawania nowych struktur. W ten sposób do dyskusji procesu ewolucji wchodzi całkowicie nowe pojęcia, jak bifurkacje, samoorganizacja nauki, adaptacyjność ze względu na wrażliwość systemu nauki na nowe wyniki naukowe i dane empiryczne, i włączanie tej nowej informacji.

Adaptacyjność nauki polega na dostosowywaniu struktur teorii do danych empirycznych. Niezwykle ciekawą koncepcją jest traktowanie nauki jako układu samoorganizującego się jak organizmu żywe, a nawet Wszechświat. Własność ta manifestuje się poprzez wyłanianie nowych struktur organizacyjnych. Struktury są konsekwencją działań uczonych, którzy je tworzą i podtrzymują. Ważną rolę odgrywają również normy regulujące działalność naukową. Każda z takich przyjętych norm będzie miała konsekwencje dynamiczne i stąd wpływ na zastąpienie starych przez nowe.

Po tym obszernym wprowadzeniu przejdźmy do wybiórczego omówienia kilku modeli. Dla przeglądu tych modeli chcielibyśmy rekomendować prace [13, 14].

„Rozważmy rozwój nauki w terminach produkcji publikacji naukowych. Jeśli brak jakichkolwiek ograniczeń dla tego procesu, rozsądna wydaje się hipoteza, że szybkość zmian liczby publikacji w chwili t , t.j. $\frac{dx}{dt}$ jest proporcjonalna do ich liczby w chwili t . Matematyczne sformułowanie tej hipotezy ma postać równania:

$$\frac{dx}{dt}(t) = \alpha x(t) \quad \alpha > 0 \text{ (stała)} \quad (1)$$

³ Por. [12, s. 11].

W powyższym równaniu niewiadoma funkcja $x(t)$ – ilość publikacji naukowych w chwili t występuje ze znakiem pochodnej. Tego typu równanie nazywa się równaniem różniczkowym. Jego rozwiązanie jest funkcją $x(t, t_0)$ zmiennej czasu t oraz warunków początkowych $x(t=0) = x_0$. Jeśli określimy dane początkowe, to rozwiązanie powyższego równania będzie wyznaczone w sposób jednoznaczny.

W powyższym równaniu występuje stała α , która posiada prostą interpretację naukometryczną – średnio mierzy względne tempo przyrostu publikacji w danej dziedzinie. W języku ekonomii powiedzielibyśmy: stopa wzrostu jest stała i równa α .

Rozwiązanie powyższego równania łatwo odgadnąć i jest to funkcja:

$$x(t) = x(0)\exp(\alpha t), \quad (2)$$

t.j. eksponenta.

Istnieją uogólnienia modeli (1), zgodnie z którymi rozwój prac badawczych jest procesem z dodatnim sprzężeniem zwrotnym, t.j. wiedza na wyjściu jest podawana na wejściu. Jeśli uwzględnimy fakt, że ważne wyniki naukowe potrzebują „czasu ich budowy” T , związanym z ich wypracowaniem, to możemy założyć, że $\frac{dx}{dt} \propto x(t - T)$. Wówczas jako rozwiązanie uzyskujemy trend eksponencjalny, na który nakładają się oscylacje [15, 16].

Model ten może wyjaśniać mechanizm cykli wzrostu w nauce. Istnienie takich cykli zostało wykazane na podstawie danych z bibliografii Churcha przy uwzględnieniu ważnych prac [17] oraz uzupełnienia i korekty [18] (włączając indeks rzeczowy).

Interesującym parametrem otrzymanym z (2) będzie charakterystyczny czas T , w którym liczba publikacji ulega podwojeniu. Czyli

$$\frac{x(t + \tau)}{x(t)} = 2.$$

Wstawiając postać funkcji (2), uzyskujemy

$$\frac{x(0)\exp(\alpha(t + \tau))}{x(0)\exp(\alpha t)} = \exp(\alpha\tau) = 2.$$

Stąd, po zlogarytmowaniu, otrzymamy:

$$\tau = \frac{1}{\alpha} \ln 2 \quad (3)$$

Prawo eksponencjalnego wzrostu nauki posiada empiryczne uzasadnienie poczynając od pionierskich prac deSolla-Price'a [19]. Wiele procesów w technice poczynając od sprawności maszyn parowych [20], ilość tranzystorów liczonych na 1000 mieszkańców, pojemność mikroprocesorów rośnie w czasie wzdłuż eksponenty.

Rozwiązanie (1) sugeruje, że rozwój nauki jest nieograniczony. W literaturze zwykło się nazywać to prawem deSolla-Price'a. Liczba czasopism naukowych, nakłady na naukę rosną wykładniczo i gdyby dalej ten proces w taki sposób przebiegał w czasie, to w niezbyt odległej przyszłości liczba uczonych przekroczyłaby liczbę ludności na całym świecie.

Bardziej realistycznego modelu dostarcza nam analogia do modelu wzrostu kultury bakterii w warunkach ograniczonych zasobów (rozmiarów) środowiska [21]. Ekologia matematyczna dostarcza nam prostego modelu wzrostu populacji $x(t)$ (liczebność kolonii):

$$\frac{dx}{dt} = \alpha x(\beta - x) \quad 0 < x < \beta \quad \alpha > 0 \quad (4)$$

Rozwiązaniem analitycznym (4) jest tzw. krzywa logistyczna opisana równaniem:

$$x(t) = \frac{\beta}{1 + C \exp(-\alpha\beta t)} \quad , \quad (5)$$

gdzie C jest stałą całkowania wybieraną przez warunek początkowy $x(t=0) = x_0$ – początkowa liczebność populacji.

Z postaci funkcji (5) widać, że $x = \beta$ jest wartością maksymalną, przy której następuje nasycenie wyników naukowych, przykładowo powstałych jako wynik nagromadzonych trudności⁴.

Innym przykładem użycia analogii do modelu ekologicznego jest propozycja F. Mullera wykorzystania modelu drapieżca – ofiara przy pomocy równania Lotki-Volterry⁵. Muller opiera swój model na hipotezie, że w nauce występują dwie kategorie problemów: aktualne, które są przedmiotem obecnych analiz oraz archiwalne, tzn. te, które już kiedyś były rozważane. Analogicznego podziału możemy dokonać w odniesieniu do wiadomości.

⁴ Dla szerszej dyskusji zobacz [22].

⁵ E.W. Weinstein, Lotka-Volterra Equations. From MathWorld – A Wolfram Web Resource, 30.11.2004, <http://mathworld.wolfram.com>

Niech $x(t)$ – oznacza ilość informacji (wiedzy) o aktualnych wiadomościach; $y(t)$ – ilość informacji o aktualnych problemach. Dynamikę narastania wiedzy i rozwiązywania problemów opisuje układ równań:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= a_1x - b_1xy \\ \frac{dy}{dt} &= -a_2x + b_2xy\end{aligned}\tag{6}$$

Muller pokazał dużą zgodność powyższego modelu dla danych empirycznych w USA [23].

Powyższe równania posiadają prostą interpretację: gdy problemy nie są rozwiązywane następuje ich eksponencjalne nagromadzenie, a nasza wiedza maleje również eksponencjalnie [24]. M. Kochen i A. Blaivas podali interesujący model oddziaływania dwóch dziedzin (geometrii różniczkowej i topologii) reprezentowanych w liczbie twierdzeń i metod użytych w tych działach [25]. Dodatkowo założył, że wyniki w danej dziedzinie mogą się starzeć.

Interesujące modele powstały z wykorzystaniem analogii do modeli epidemiologicznych [26]. Przegląd tych podejść można znaleźć w tłumaczeniu [27]. Metody układów dynamicznych są również wykorzystywane do badania dynamiki kadry naukowej [28].

Tutaj nie będziemy się zajmować uogólnionymi modelami rozwoju nauki bazującymi na koncepcji układów dynamicznych⁶.

4. Modele wzrostu gospodarczego z wiedzą jako układy dynamiczne

Przypomnijmy sobie model Solowa-Swana wzrostu gospodarczego będący punktem wyjścia każdej analizy wzrostu. Model ten jest niezwykle prosty (co upodabnia go do modeli scientometrycznych z poprzedniego rozdziału). W tym modelu występują 4 zmienne: K – kapitał; Y – produkt; L – praca; A – wiedza [30].

Funkcja produkcji jest opisana zależnością $Y = Y(K, L, A)$. Wiedza jest rozumiana bardzo szeroko, od bardzo abstrakcyjnej (np. mechanika kwantowa) do stosowanej (jak uruchomić samochód w mroźny poranek). Wszystkie rodzaje wiedzy nie rywalizują; np. skorzystanie z twierdzenia Pitagorasa przez kogoś nie utrudnia użycia twierdzenia przez kogoś innego. Wiedza jest również swobodnie

⁶ Dla przeglądu możliwych podejść polecamy pracę doktorską [29].

dostępna, a badania nie są motywowane uzyskaniem prywatnego przychodu. Z ekonomicznego punktu widzenia wiedza jest dobrem rozdawanym po zerowych kosztach i jest użyteczna w produkcji. Stąd jej wytwarzanie należy subsydiować.

W wyprowadzeniu modelu korzystamy z pewnych założeń dotyczących samej formy produkcji (Y nie zależy explicite od czasu, A i L wchodzi do Y w sposób multiplikatywny ($A \times L$) jest to rozumiane jako praca efektywna, a postęp naukowy w ten sposób się uzewnętrznia; dodatkowo zakładamy jednorodność Y w stopniu pierwszym:

$$\forall cY(cK, cAL) = cY(K, L)$$

(założenie stałych przychodów skali).

Wprowadzamy oznaczenia $k = \frac{K}{AL}$, $y = \frac{Y}{AL}$ i robimy założenia odnośnie funkcji $y = f(k)$ (war. Inady). Wybór funkcji produkcji w postaci Cobba–Douglassa spełnia te warunki, t.j. niech $f(k) = k^\alpha$, $0 < \alpha < 1$. Dalej robimy założenia dotyczące siły roboczej i wiedzy:

$$\dot{L}(t) = n \cdot L(t)$$

$$\dot{A}(t) = g \cdot A(t) \quad (7)$$

t.j. zakładamy, że rosną według stałych stóp.

Założenie dotyczące wiedzy A jest motywowane przez prostotę modelu, ale zwróćmy uwagę, że musi istnieć ścisły związek pomiędzy α i g . Relacje (7) traktują wiedzę jako egzogeniczną, stąd g powinno być determinowane przez modele naukometryczne.

Jest zadziwiające, jak wiele tłumaczy model (9). Jeśli porównamy prawą stronę równania do 0, to znajdziemy stan stacjonarny układu, który zawsze istnieje. Gdy $k = k_0 = \text{const}$, to kapitał zmienia się dokładnie według stopy $(n + g)$. Co to oznacza? W dostatecznie długim czasie tempo wzrostu PKB jest równe $n + g$, t.j. sumarycznemu tempu wzrostu populacji i wiedzy.

Powyższy model jest bardzo uproszczony, lecz jakościowo wyjaśnia obserwowalny wzrost gospodarczy: jego czasowe i przestrzenne zróżnicowanie. W tym samym modelu zakłada się, że obok kapitału fizycznego (maszyny, urządzenia) istnieje wiedza. Pojęcie wiedzy jest bardzo tajemnicze w modelu S-S, dlatego zaproponowano wyjście poza ten model.

W tzw. nowej teorii wzrostu kapitał jest traktowany szerzej – powiększony o tzw. kapitał ludzki. Siłą napędową wzrostu jest akumulacja wiedzy (podstawowa wiedza naukowa, działalność badawczo rozwojowa, nabywanie wiedzy przez praktykę (Arrow 1962). Na kapitał ludzki składają się umiejętności i wiedza poszczególnych pracowników. Przyjmujemy, że produkt Y jest dany funkcją:

$$Y(t) = K^\alpha(t) H^\beta(t) [A(t)L(t)]^{1-\alpha-\beta} \quad (8)$$

Z danych empirycznych uzyskujemy, że model, który przyjmuje szerszą definicję kapitału, która wychodzi poza standardowy kapitał fizyczny, stanowi dobre przybliżenie do danych. Mankiw, Romer i Weil (1992) estymowali wartości parametrów i otrzymali $\alpha = 0,31$, $\beta = 0,28$, $(n + g) = 0,05$, i pokazali, że regresja tłumaczy 80% różnic między krajami pod względem produktu dla pracowników [31].

5. Podsumowanie (warto zapamiętać)

1. Modele naukometryczne są formułowane w terminach układów dynamicznych.
 2. Prawo eksponencjalnego wzrostu wyników, publikacji, wynalazków, etc. wydaje się być uniwersalne (ale jest to jedynie przybliżenie).
 3. W modelach teorii wzrostu gospodarczego występuje pojęcie wiedzy i kapitału ludzkiego i odgrywają one decydującą rolę w wyjaśnianiu dlaczego PKB dzisiaj jest 10 razy większy niż 100 lat temu, a w Indiach 10 razy mniejszy niż w USA.
 4. Modele naukometryczne winny dostarczać dokładnych modeli wzrostu wiedzy i kapitału ludzkiego, gdy są one traktowane jako egzogeniczne (czynniki zewnętrzne warunkujące wzrost).
-

6. Ćwiczenia do wykładu

Ćwiczenie 1

Zakładając, że parametr α , którego wartość zależy od dyscypliny naukowej i jest zawarta w przedziale 5-7% obliczyć okres podwojenia liczby publikacji. Odp. 10-15 lat.

Ćwiczenie 2

Z badań deSolla-Price'a wynika, że czas podwojenia liczby naukowców jest około 14 lat. Zakładając, że obecna liczba uczonych ($x(0)$) jest 106, obliczyć w oparciu o prawo (1) kiedy każdy mieszkaniec stanie się uczonym. Wskazówka: wyliczyć α z czasu podwojenia.

Ćwiczenie 3

Znaleźć stacjonarne stany układu (6), odpowiadające $\dot{x} = \dot{y} = 0$. Wykazać jego stabilność gdy $a_1 - a_2 < 0$.

Ćwiczenie 4

Niech produkt Y będzie dzielony między konsumpcję i inwestycję. Załóżmy, że stała s – ta część produktu jest przeznaczona na inwestycje. Jedna jednostka produktu przynosi jedną jednostkę nowego kapitału; przy czym kapitał bieżący jest amortyzowany według stopy δ , t.j.:

$$\frac{dK}{dt} = \dot{K}(t) = sY(t) - \delta K(t) \quad (9)$$

Wyprowadzić model Solowa-Swana.

$$\dot{k}(t) = sf(k(t)) - (n + g + \delta)k(t) \quad (10)$$

Ćwiczenie 5

Zbadać graficznie istnienie stanu stacjonarnego w modelu Solowa-Swana. Załóż, że funkcja produkcji spełnia warunki Inady. Zbadaj również stabilność tego punktu oraz wyznacz, w jakim tempie będzie się w nim zmieniać kapitał K .

Ćwiczenie 6

Zakładając, że s_K – część stała produktu jest przeznaczona na akumulację kapitału fizycznego oraz s_H – stała część na akumulację kapitału ludzkiego, wyprowadź równania dla modelu nowej teorii wzrostu gospodarczego (r. Cassa-Koopmansa):

$$\dot{k} = s_K k^\alpha(t) h^\beta(t) - (n + g)k(t)$$

$$\dot{h} = s_H k^\alpha(t) h^\beta(t) - (n + g)h(t)$$

$$\text{Gdzie } h = \frac{H}{AL}, y = k^\alpha h^\beta.$$

Ćwiczenie 7

W pracy D. deSolla-Price'a wiele uwagi poświęca się przejściu eksponenty w krzywą logistyczną (liczba pracowników naukowych jest ograniczona tak, jak i możliwości ekonomiczne jej finansowania, etc.) prowadzącą do nasycenia wyników. Znaleźć punkt przegięcia krzywej logistycznej () oraz zbadać jak zmienia się z czasem okres podwojenia.

Ćwiczenie 8

(Rozszerzony model potęgowy [32]) W tym modelu, zamiast funkcji wykładniczej, wykorzystywana jest funkcja potęgowa do modelowania wyników. Model ten można zapisać za pomocą równania różniczkowego

$$\frac{dx}{dt} = at^b$$

gdzie a i b – stałe dodatnie. Znaleźć rozwiązanie tego równania oraz wyznaczyć funkcję okresu podwojenia jako funkcję czasu. (Uwaga: B.M. Gupta i C. Karisddappa pokazali zgodność tego modelu z akumulacją liczby publikacji z pewnego działu genetyki [13]).

Ćwiczenie 9

W naukometrii, obok równań różniczkowych, istotną rolę odgrywają równania różnicowe [33]. Rozważmy model akumulacji wyników zadany równaniem:

$$x(t+1) = bx(t)(N - (x(0) + x(1) + \dots + x(t))),$$

gdzie N i b stałe. Wielkość b mierzy siłę wpływu publikacji na kolejną; N – oznacza liczbę prac, które są konieczne do rozwiązania problemu. Napisz program komputerowy do liczenia $x(t)$ i zbadaj numerycznie własności rozwiązań.

Ćwiczenie 10

Zbieraniem danych naukometrycznych dzisiaj zajmują się wyspecjalizowane zespoły dokumentacji naukowej. Istnieje wiele takich baz danych. Zapoznaj się z najbardziej znanymi wchodząc na odpowiednie strony internetowe:

- [SCI-Expanded-zatoka.icm.edu.pl/sci/index.html](http://www.sci-expanded-zatoka.icm.edu.pl/sci/index.html), <http://www.isinet.com/>
- [Inspec-zatoka.icm.edu.pl/oovidweb](http://www.inspec-zatoka.icm.edu.pl/oovidweb)
- [Zentralblatt MATH-www.emis.de/ZMATH/](http://www.zentralblatt-math.de/ZMATH/) Bazy te posiadają istotne ograniczenie (okres gromadzenia danych) – ile on wynosi?

Spis literatury

- [1] Leydesdorff L 2001 The Challenge of Scientrometrics. The Development Mea-surement, and Self-Organization of Scientific Communication (USA: Universal Publishers/uPublish.com)
- [2] deSolla Price D 1965 Węzłowe problemy historii nauki (Warszawa: PWN)

- [3] de Solla Price D 1967 *Mała Nauka – Wielka Nauka* (Warszawa: PWN)
- [4] Ossowska M and Ossowska S 1935 *Nauka Polska* 20 1-12
- [5] Nalimow W W and Mulczenko Z M 1971 *Naukometria* (Warszawa: WNT)
- [6] Don Price K 1965 *Scientific Estate*, Cambridge, Massachusetts (Cambridge Massachusetts: The Belknap Press of Harvard University Press)
- [7] Brujackij I and Smirnow L 1973 *Naukowa Dumka* (Kijew)
- [8] Kot S 1975 *Modele stochastyczne rozwoju dyscyplin naukowych* (Akademia Ekonomiczna Kraków: praca doktorska)
- [9] Popper K R 1999 *Droga do wiedzy. Domysły i refutacje* (Warszawa: PWN)
- [10] Popper K R 1997 *Mit schematu pojęciowego. W obronie nauki i racjonalności* (Warszawa: Książka i Wiedza)
- [11] Fronczak P, Fronczak A and Hotyst J 2006 (Preprint arXiv:physics/0606190)
- [12] Herfel W E and Hooker C A 1998 *Language, Quantum, Music: Select Proceed. of the 10th Int. Congress of Logic, Methodology and Philosophy of Science* ed et al M D C (Boston: Kluwer Academic Publishers) pp 7-18
- [13] Gupta B M and Karisiddappa C R 2000 *Scientometrics* 49 2 321-355
- [14] Szydłowski M and Krawiec A 1999 *Postaci prawdy* 3 ed Jonkisz A (Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego) p 1802
- [15] Szydłowski M and Krawiec A 2001 *Scientometrics* 52 82-95
- [16] Szydłowski M and Krawiec A 2008 *Scientometrics*
- [17] Church A 1936 *The Journal of symbolic Logic* 1 121 -258
- [18] Church A 1938 *The Journal of symbolic Logic* 3 178-192
- [19] deSolla Price D 1975 *Science since Babylon: Enlarged Edition* (Yale: Yale University Press)
- [20] Singer C, Holmgard E, Hall A and Williams T 1978 *The History of Technology* (Yale: Oxford University Press)
- [21] Avromescu A 1971 *Zagadnienia Naukoznawstwa* 7 220-234
- [22] Fernandez-Cano A, Torvalbo M and Vallejo M 2004 *Scientometrics* 61 3 301-321
- [23] Muller F 1972 *Fortschritt der Wissenschaft* 22 4 162-165
- [24] Muller F 1978 *Zagadnienia Naukoznawstwa* 1 53
- [25] Kochen M and Blaivas A 2004 *Scientometrics* 3 265-273
- [26] Goffman W 1969 *Nature* 5061 449-452
- [27] Pietrowa T 1975 *Zagadnienia Naukoznawstwa* 1 41 129-142
- [28] Kulikowski R, Mierzejewski H and Rokicki W 1975 *Zagadnienia Naukoznawstwa* 1 41 60-69

- [29] Polak P 2004 Dynamika Nauki (Tarnów: Biblos)
- [30] Szydłowski M 2006 Postępy Fizyki 57 2 50-57
- [31] Mankiw G, Romer D and Weil N 1992 Quartely Journal of Economics 107 403-437
- [32] Gupta B M et al. 2002 Scientometrics 53 161-164
- [33] Nowakowska M 1971 Zagadnienia Naukoznawstwa 7 318-345