http://dx.doi.org/10.18778/7525-945-2

Maciej Malaczewski

Zasoby naturalne postęp techniczny

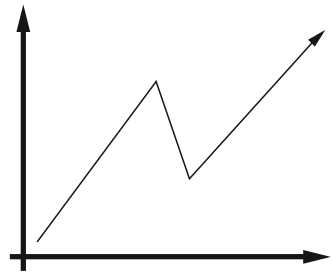
a długookresowy wzrost gospodarczy

40 LAT
WYDAWNICTWA
UNIWERSYTETU
ŁÓDZKIEGO

Maciej Malaczewski

Zasoby naturalne postęp techniczny

a długookresowy wzrost gospodarczy



WYDAWNICTWO
UNIWERSYTETU
ŁÓDZKIEGO

ŁÓDŹ 2013

Maciej Malaczewski – Uniwersytet Łódzki, Wydział Ekonomiczno-Socjologiczny
Katedra Ekonometrii, 90-255 Łódź, ul. Rewolucji 1905 r. nr 39

RECENZENT
Henryk Zawadzki

REDAKTOR WYDAWNICTWA UŁ
Elżbieta Marciszewska-Kowalczyk

SKŁAD KOMPUTEROWY
Maciej Malaczewski

PROJEKT OKŁADKI
Łukasz Orzechowski

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2010–2013 jako projekt badawczy KBN nr N 112 553138

Wydrukowano z gotowych materiałów dostarczonych do Wydawnictwa UŁ

© Copyright by Uniwersytet Łódzki, Łódź 2013

Wydane przez Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego
Wydanie I. W.06281.13.0.M

ISBN (wersja drukowana) 978-83-7525-945-2
ISBN (ebook) 978-83-7969-204-0

Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego
90-131 Łódź, ul. Lindleya 8
www.wydawnictwo.uni.lodz.pl
e-mail: ksiegarnia@uni.lodz.pl
tel. (42) 665 58 63, faks (42) 665 58 62

Spis treści

Wstęp 5

1. Zasoby naturalne a wzrost gospodarczy – podstawowe problemy 13
1.1. Rola zasobów naturalnych we wzroście gospodarczym 13
1.2. Sprawiedliwość międzypokoleniowa 24
1.3. Problem pomiaru bogactwa narodów – zielone NNP 31
1.4. Ceny zasobów naturalnych 35
1.5. Podsumowanie 39

2. Postęp techniczny a zużycie zasobów naturalnych 41
2.1. Rola postępu technicznego w relacji między zasobami naturalnymi a wzrostem gospodarczym 41
2.2. Model 50
2.3. Rozwiązanie modelu i analiza wyników 55
2.4. Wnioski 62

3. Od komplementarności do substytucyjności – postęp techniczny a rola zasobów naturalnych we wzroście gospodarczym 65
3.1. Wprowadzenie 65
3.2. Model 68
3.3. Rozwiązanie modelu i analiza wyników 70
3.4. Podsumowanie i wnioski 74

4. Zasoby naturalne jako źródło energii. 77
4.1. Wprowadzenie 77
4.2. Model 80

4.3. Rozwiązanie modelu i analiza wyników 83
4.4. Porównanie modeli 87
4.5. Podsumowanie i wnioski 88

5. Środowisko naturalne a wydobycie zasobów naturalnych . 91
5.1. Wprowadzenie 91
5.2. Model 94
5.3. Rozwiązanie modelu i analiza wyników 97
5.4. Podsumowanie i wnioski 102

6. Możliwości technologiczne a zużycie zasobów naturalnych . 103
6.1. Wprowadzenie. Idea możliwości technologicznych 103
6.2. Możliwości technologiczne w modelu zasobów naturalnych i wzrostu gospodarczego 106
6.3. Rozwiązanie modelu i analiza wyników 109
6.4. Podsumowanie i wnioski 114

Zakończenie i podsumowanie 115

Bibliografia 121

Załącznik 129

Wstęp

Zagadnienie granic wzrostu gospodarczego od wielu już lat stanowi obiekt zainteresowania ekonomistów. Jako jeden z czynników, mogących obniżyć tempo wzrostu gospodarczego, rozumianego jako zwiększanie się poziomu PKB *per capita* w czasie, wymieniane są ograniczenia związane z nieodnawialnymi zasobami naturalnymi. Stopniowe wyczerpywanie się zasobów naturalnych takich jak ropa naftowa czy węgiel kamienny jest bowiem faktem. Związane jest to z jednej strony z rozwojem gospodarczym świata, z drugiej – z brakiem dostatecznie dobrych substytutów, które pomogłyby zmniejszyć użytkowanie zasobów nieodnawialnych. Oprócz tego, niepewności energetyczne i surowcowe prowadzą do licznych wahań na rynkach podstawowych zasobów, co także przekłada się na powstawanie fluktuacji w tempie wzrostu gospodarczego różnych gospodarek. Nie jest odosobnione twierdzenie, że dokonujący się na naszych oczach postęp techniczny oraz dalszy rozwój badań naukowych w dziedzinach związanych z poszukiwaniem alternatywnych źródeł energii ostatecznie rozwiąże wszystkie te problemy. Póki co w sferze marzeń pozostają samochody napędzane silnikami atomowymi, lecz nie są to już wynalazki niewyobrażalne dla współczesnego człowieka.

Wyczerpywanie się zasobów naturalnych spowodować musi podwyższenie ich ceny, a co za tym idzie podwyższenie kosztów każdej produkcji, w której są one wykorzystywane. Wraz z podnoszeniem się tych kosztów pojawiają się naturalne zachęty do prowadzenia działalności badawczo-rozwojowej, której celem jest wyrugowanie zasobów naturalnych z procesu produkcyjnego. Towarzyszące temu odkrycia technologiczne mogą być różnej postaci – możliwe jest odkrycie np. alternatywnych i tanich sposobów uzyskiwania energii, możliwe jest znalezienie wystarczająco dobrych substytutów dla zasobów naturalnych lub odkrycie rewolucyjnych metod pozyskiwania tych zasobów. W każdym z tych przypadków ograniczenia wzrostu płynące z wyczerpywalności zasobów naturalnych zostałyby przezwyciężone. Analiza powyższego rozumowania pozwala jednakże dostrzec wiele problemów i niejasności, np. jaka jest szansa na to, iż rozpoczęte w ten sposób badania

naukowe rzeczywiście prowadzić będą do uzyskania pożądanych rezultatów. Otwartych pozostaje też wiele innych pytań, w tym także: jaka jest zależność pomiędzy wielkością złóż zasobów naturalnych a poziomem wzrostu gospodarczego? Czy ubogie kraje powinny być zachęcane do wydobywania złóż zasobów naturalnych, czy też nie? Czy prawdą jest stwierdzenie, iż gospodarki, których położenie pozwala im na wydobywanie większej ilości rozmaitych zasobów naturalnych, są przez to bogatsze i rozwijają się szybciej? Okazuje się, że różne badania pokazują odmienne zależności.

Powstaje zatem naturalne pytanie o wpływ, jaki wyczerpywanie się zasobów naturalnych może mieć na długookresowy wzrost gospodarczy. Jeżeli bowiem zasoby naturalne, jak twierdzi np. Dasgupta (1993), są w jakimś sensie składnikiem każdego produktu, to ich wyczerpanie się musi z konieczności produkcję owych dóbr ograniczyć. Rozwiązaniem tego problemu, w opinii wielu ekonomistów, ma być postęp techniczny, ponieważ pojawiające się ograniczenia w dostępie do zasobów, konieczność wydobywania trudniejszych w eksploatacji, a przez to i bardziej kosztownych, złóż i idące za tym rosnące koszty stanowić mają wystarczającą zachętę do odpowiedniej aktywności naukowo-badawczej. Skutkiem tej aktywności ma być postęp techniczny i rozwój technologii, który pozwoli na zredukowanie roli zasobów naturalnych w procesie produkcji.

Aby wspomniane wyżej zależności opisać, konieczne jest skonstruowanie odpowiednich modeli długookresowego wzrostu gospodarczego, uwzględniających wspomniane relacje oraz analiza płynących z nich wniosków. Należy jednak w tym miejscu nadmienić, że zagadnienie użytkowania zasobów naturalnych, jak i wiele innych, ma swoją specyfikę, którą należy wziąć pod uwagę w konstrukcji owych modeli.

Niniejsza monografia stanowi podsumowanie trzyletnich badań autora nad opisywanymi zagadnieniami w ramach projektu badawczego „Zużycie zasobów naturalnych, postęp techniczny a długookresowy wzrost gospodarczy” (projekt badawczy KBN nr N N112 553138) prowadzonego w latach 2010–2013. Założeniem projektu było uzyskanie odpowiedzi na pytania o teoretyczne zależności pomiędzy długookresowym wzrostem gospodarczym, postępem technicznym a zużyciem zasobów naturalnych, uwzględniające postulaty zarówno nowoczesnej teorii wzrostu, jak i ekonomii ekologicznej. Głównym przedmiotem badań jest wpływ, jaki wielkość zasobów naturalnych oraz ich zużywanie mieć będzie długookresowo na tempo wzrostu gospodarczego oraz o rolę, jaką w tym wpływie odgrywać będzie postęp techniczny oraz rozwój kapitału ludzkiego, zarówno generowany zewnętrznie (tzw. egzogeniczny postęp techniczny), jak i wewnętrznie, będący wynikiem świadomej działalności naukowo-badawczej.

Autor jest w pełni świadom faktu, iż prezentowana monografia nie jest kompletna – problem wpływu zasobów naturalnych na wzrost gospodarczy, ze szczególnym uwzględnieniem roli postępu technicznego, jest tak szeroki, iż na każde w zasadzie zagadnienie szczegółowe związane z nim napisać można wiele książek o niemałej objętości. Praca niniejsza bynajmniej nie uzurpuje sobie prawa do bycia wyłącznym źródłem informacji na ich temat – na rynku znajduje się cała mnogość znakomitych pozycji (głównie anglojęzycznych) dotyczących np. zrównoważonego wzrostu, sprawiedliwości międzypokoleniowej czy też substytucyjności różnych form kapitału.

Badania zostały podjęte ze względu na chęć znalezienia odpowiedzi na jedno z pytań dotyczących teorii wzrostu gospodarczego – czy istniejące zasoby naturalne (zarówno odnawialne, jak i nieodnawialne) wystarczą do utrzymania stabilnego tempa wzrostu gospodarczego, w czym udział ma mieć postęp techniczny, czy też istnieją granice tego wzrostu, określone przez wielkość tych zasobów oraz możliwości technologiczne ludzkości. Pytanie to dręczy ekonomistów od dość dawna, a zagadnienie relacji pomiędzy zasobami a szeroko rozumianym rozwojem gospodarczym doprowadziło do powstania odrębnej gałęzi ekonomii – *Natural Resource Economics*. Nie ma jednak zbyt wielu prac, których celem jest wyrażenie ilościowych zależności pomiędzy tempem zużywania się zasobów naturalnych a wzrostem gospodarczym. Brakuje też prac, które wspomogłyby unifikację teorii wzrostu gospodarczego z ekonomią ekologiczną i, tym samym, zwiększyły efektywność prac w tych dwóch obszarach. Jedną z przesłanek do podjęcia tematu była chęć wypełnienia tej luki.

Wiedza na temat relacji pomiędzy wielkością zasobów naturalnych, tempem postępu technicznego oraz długookresowym wzrostem gospodarczym jest kluczowa dla podmiotów decyzyjnych gospodarek. Świadomość zachodzenia tych relacji oraz ich kształtu, rozważana w kontekście aktualnego stanu posiadania zasobów przez daną gospodarkę oraz możliwości ich ewentualnego zdobycia, jest podstawowa dla bezpieczeństwa energetycznego i surowcowego krajów. Niewielkie zasoby surowców, będące w posiadaniu gospodarki, nie muszą być problemem, jeżeli tylko gospodarka jest w stanie, za pomocą odpowiednich prac naukowo-badawczych, doprowadzić technologię do odpowiednio wysokiego poziomu.

Pytanie o rolę, jaką może pełnić w długookresowym wzroście gospodarczym fakt wyczerpywania się surowców naturalnych, postawiono dość dawno. Już w 1932 roku L. Robbins, podając swoją słynną definicję ekonomii, powołał się na racjonalne gospodarowanie ograniczonymi zasobami w celu optymalnego zaspokojenia nieograniczonych ludzkich potrzeb. W latach trzydziestych powstała też publikacja Hotellinga (1931), w której autor

omawia problem optymalnego zużywania nieodnawialnych zasobów naturalnych. Publikacja ta do dziś jest często cytowana i rozważana (np. Lin et al. 2009). Także w polskiej literaturze autorzy często wskazują na regułę Hotellinga (np. Żylicz 2004). Reguła ta wskazuje jednak na optymalne tempo zużywania zasobów naturalnych, bez uwzględnienia efektów postępu technicznego oraz bez zbadania ich łącznego wpływu na tempo wzrostu gospodarczego. Znane są prace Klubu Rzymskiego dotyczące granic wzrostu gospodarczego, które bezpośrednio dotykają tego zagadnienia. Wspomina się w literaturze o wzajemnych zależnościach zasobów naturalnych oraz wzrostu gospodarczego (np. Fiedor 2002), a zatem jest widoczne zapotrzebowanie na teoretyczne modele obrazujące tą zależność. W literaturze z zakresu ekonomii ekologicznej istnieje dużo prac o takiej tematyce, jednakże wciąż wiele aspektów wydaje się być niezbadanych. Konieczne jest zatem konstruowanie modeli teorii długookresowego wzrostu gospodarczego zgodnie z ideami Solowa (1956), Lucasa (1988) i Romera (1990), które brałyby pod uwagę aspekty wyczerpywania się złóż zasobów naturalnych.

W zagranicznej literaturze związanej z teorią wzrostu i ekonomią ekologiczną zajęto się ostatnimi czasy raczej rozważaniami konsekwencji nadmiernej emisji zanieczyszczeń dla środowiska naturalnego. Znana jest tzw. środowiskowa krzywa Kuznetsa obrazująca relację pomiędzy poziomem rozwoju gospodarczego oraz wielkością emisji zanieczyszczeń. Powstałe w trakcie rozważań problemu emisji modele (np. słynny „zielony” model Solowa, por. Brock, Taylor 2010) oraz badania empiryczne (np. Grossman, Krueger 1995) potwierdzają teoretyczny kształt tej krzywej. Rozważanie jednak problemu emisji odsunęło na plan dalszy zagadnienie wyczerpywania się zasobów naturalnych. Istnieją, nawet dość niedawno skonstruowane modele, w których autorzy wykazują się umiejętnościami określenia chwili w czasie, w której nastąpi wyczerpanie się danego zasobu (np. Withagen, Bergh 2002). Rozwijane są też badania Hotellinga dotyczące optymalnego wykorzystania zasobów naturalnych. Prace te nie uwzględniają jednak aspektów technologicznych, które zmieniają postać problemu i prowadzić mogą do odmiennych wniosków.

Praca ma charakter teoretyczny. Konstrukcji modeli w czasie ciągłym, z wykorzystaniem narzędzi teorii równań różniczkowych i optymalizacji dynamicznej, przyświecało następujące rozumowanie. Istniejące zasoby naturalne, odnawialne i nieodnawialne, wykorzystywane są w procesie produkcyjnym do kreacji odpowiednich dóbr. Postępujące zużywanie się podaży tych zasobów prowadzić będzie do koniecznego ograniczenia wielkości produkcji. Ów spadek produkcji stanowić będzie motywację do prac naukowo-

badawczych, które prowadzone będą pod kątem zmniejszenia kosztów użytkowania zasobów. Doprowadzić do tego mogą na kilka sposobów – bądź poprzez zwiększenie efektywności wykorzystania istniejących zasobów w procesie produkcyjnym, bądź też poprzez znalezienie taniego w produkcji substytutu dla określonego zasobu. Uzyskane efekty działalności badawczej pozwolą na dalszą produkcję odpowiednich dóbr i usług przy wykorzystaniu mniejszej ilości złóż zasobów naturalnych bądź też już bez ich udziału, co znów doprowadzi do wzrostu produkcji zasobochłonnych dóbr i usług. Powyższe rozumowanie jest oczywiście wynikiem założeń o racjonalności konsumentów i przedsiębiorców.

Dokonana została zatem konstrukcja i analiza szeregu teoretycznych modeli wzrostu gospodarczego, opartych na równaniach różniczkowych, uwzględniających problematykę stopniowego wyczerpywania się nieodnawialnych zasobów naturalnych oraz użytkowania odnawialnych zasobów naturalnych. Skonstruowane modele są następnie rozwiązywane, a dynamika modelowanej gospodarki podlega analizie. Znajomość długookresowego stanu gospodarki pozwala na wskazanie determinujących go czynników. Tworzone modele stanowią z reguły rozszerzone wersje modeli wykorzystujących technikę optymalizacji dynamicznej typu Ramseya, co pozwala uwzględnić ideę istnienia racjonalnych gospodarstw domowych (podejmujących decyzje dotyczące konsumpcji i oszczędzania, aczkolwiek nieuwzględniających efektów zewnętrznych), lub tzw. planisty społecznego (który bierze te efekty pod uwagę w planowaniu konsumpcji gospodarstw domowych na szczeblu makroekonomicznym). W toku analiz, w zależności od podejścia, uwzględniany jest postęp techniczny jako efekt rozwoju kapitału ludzkiego lub intencjonalnych prac naukowo-badawczych. Postęp ten pełnić może kilka ról – może doprowadzić do zmniejszenia zapotrzebowania na poszczególne zasoby, może spowodować efektywniejsze ich wykorzystywanie, może zmienić charakter relacji pomiędzy zasobami naturalnymi a innymi czynnikami produkcji, bądź może pozwolić na wynalezienie i wdrożenie tańszych i bardziej ekologicznych substytutów.

Układ pracy jest następujący. Rozdział pierwszy zawiera przegląd literatury związanej z najważniejszymi zagadnieniami problematyki relacji zasobów naturalnych i wzrostu gospodarczego. I tak, czytelnik będzie mógł przeczytać o wynikach badań empirycznych, dotyczących relacji pomiędzy wyposażeniem gospodarki w zasoby naturalne a tempem wzrostu gospodarczego i poziomem bogactwa gospodarki. Zaprezentowany tu zostanie prosty model, którego zadaniem jest wytłumaczenie otrzymywanych w literaturze empirycznych zależności. Stanowi on poprawioną wersję modelu, który

w pierwotnej postaci prezentowany był na konferencji „Wzrost gospodarczy. Teoria i rzeczywistość” w Poznaniu w 2010 roku i opublikowany w formie artykułu (Malaczewski 2011a). Oprócz tego rozdział pierwszy zawiera przegląd dyskusji związanej ze sprawiedliwością międzypokoleniową, problematyką pomiaru produkcji uwzględniającą zasoby naturalne oraz przegląd badań związanych z analizą kształtowania się cen zasobów naturalnych. Pierwsza część rozdziału drugiego stanowi przegląd literatury związanej z relacją pomiędzy zasobami naturalnymi, postępem technicznym oraz długookresowym wzrostem gospodarczym. W drugiej części prezentujemy poprawioną wersję modelu endogenicznego wzrostu gospodarczego, opartego na modelu Lucasa (1988). Model ten uwzględnia substytucyjność postaci Cobba-Douglasa pomiędzy kapitałem fizycznym a zasobami naturalnymi, był on prezentowany wcześniej na konferencji „Matematyka i informatyka w służbie ekonomii” w Poznaniu w 2011 roku i opublikowany jako artykuł (Malaczewski 2011b). Trzeci rozdział zawiera omówienie i próbę rozszerzenia interesującej pracy Growiec, Schumacher (2008) traktującej o wpływie postępu technicznego na stopień substytucyjności pomiędzy kapitałem fizycznym a zasobami naturalnymi. Artykuł, zawierający pierwszą wersję tych wyników, był prezentowany na konferencji „Metody matematyczne, statystyczne i informatyczne w finansach i ubezpieczeniach” w 2011 roku w Wiśle i ukaże się najprawdopodobniej w 2014 roku.

W rozdziale czwartym zaprezentowano odmienny punkt widzenia. Zasoby naturalne są tu traktowane nie jako czynnik produkcji, ale jako źródło energii, która jest przede wszystkim użytkowana w procesie akumulacji kapitału. Jak bowiem pokazują dane empiryczne, to właśnie akumulacja kapitału fizycznego jest najbardziej energochłonną działalnością gospodarczą. Wyniki zawarte w tym rozdziale stanowią rozszerzoną i poprawioną wersję prac, które były prezentowane na konferencji „Modelowanie i prognozowanie gospodarki narodowej” w 2011 roku w Sopocie, a także na konferencji „Wzrost gospodarczy – rynek pracy – innowacyjność gospodarki” w 2011 roku w Łodzi oraz opublikowane w artykule (Malaczewski 2011c) i jako rozdział w monografii (Kasperkiewicz, Madaj (red.) 2012). Rozdział piąty zawiera analizę zużycia zasobów naturalnych z wykorzystaniem problematyki zanieczyszczenia środowiska. Te wyniki także były prezentowane na konferencji „Matematyka i informatyka w służbie ekonomii” w Poznaniu w 2012 roku i ukazały się w formie artykułu (Malaczewski 2012b). Wreszcie rozdział szósty zawiera próbę modelowania wzrostu endogenicznego za pomocą koncepcji możliwości technologicznych oraz analizę wpływu tak generowanego postępu technicznego na zagadnienie wyczerpywalności zasobów natural-

nych. Przedstawiony model prezentowany był na konferencji „Matematyka i informatyka w służbie ekonomii” w Poznaniu w 2013 roku. Artykuł uzyskał pozytywną recenzję, ukaże się w 2014 roku.

Czytelnika może w niniejszej monografii zadziwić nadzwyczajne skoncentrowanie wysiłków przy konstrukcji modelu na zagadnieniach sterowania optymalnego gospodarką (na istnieniu tzw. „planisty społecznego”) nie zaś na rozważaniu gospodarek zdecentralizowanych i konsekwencji podejmowania decyzji niezależnie przez poszczególne podmioty w gospodarce. Jest to wynikiem świadomej decyzji autora, popartej przykładami licznych prac występujących w literaturze ekonomicznej, w których stosuje się takie podejście. Ciekawe jest porównanie rozwiązań obu typów modeli, nie jest jednak to celem niniejszej pracy. Zagadnienia związane z zasobami naturalnymi, postępem technicznym i wzrostem gospodarczym są z reguły zagadnieniami politycznymi, gdzie istotne jest ustanowienie odpowiednich uregulowań prawnych, by zapewnić określone cele (np. wzrost gospodarczy, sprawiedliwość międzypokoleniową itp.). Mówimy zatem o podejmowaniu decyzji na szczeblu makroekonomicznym, a więc o konieczności poszukiwania ścieżki społecznie optymalnej. Oczywiście niemało jest w literaturze teorii menedżerskich, według których administracja rządowa podejmuje decyzje tak, by zaspokoić przede wszystkim swoje potrzeby, nie zaś zapewnić dobro społeczne, jednak w niniejszej pracy uwga skupiona będzie raczej na polityce gospodarczej, która powinna być podjęta.

Autor niniejszej monografii chciałby serdecznie podziękować uczestnikom wszystkich wspomnianych wyżej konferencji, na których miał przyjemność prezentować wyniki swoich badań, w szczególności uczestnikom serii konferencji organizowanych przez Wydział Informatyki i Gospodarki Elektronicznej Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, w tym zwłaszcza pracownikom Katedry Ekonomii Matematycznej UE w Poznaniu. Zespół kierowany przez prof. dr hab. Emila Panka zawsze stanowił znakomite audytorium do zaprezentowania wyników oraz otrzymania precyzyjnej, merytorycznej i serdecznej krytyki. Oprócz tego, autor chciałby podziękować kolegom i koleżankom z Katedry Ekonometrii Wydziału Ekonomiczno-Socjologicznego Uniwersytetu Łódzkiego kierowanej pierwotnie przez prof. dr hab. Władysława Milo, a obecnie przez prof. dr hab. Jana Jacka Sztaudyngera. Wiele istotnych uwag zgłoszonych w trakcie katedralnych seminariów znalazło swoje zastosowanie w niniejszej pracy. Autor serdecznie dziękuje także prof. dr hab. Henrykowi Zawadzkiemu z Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, recenzentowi niniejszej pracy, który cierpliwie i niezwykle szczegółowo przeczytał nie najlepiej napisaną pierwszą wersję

niniejszej monografii i także zwrócił uwagę na wiele zawartych w niej niedociągnięć, co przyczyniło się do istotnego podniesienia jej jakości.

Wreszcie najcieplejsze podziękowania należą się mojej małżonce, Paulinie, która była pierwszym i najważniejszym czytelnikiem całej monografii. Bez jej wsparcia, uwag i merytorycznej pomocy z pewnością praca ta straciłaby wiele ze swojej wartości.

Niniejsza praca była finansowana ze środków na naukę w latach 2010–2013 jako projekt badawczy własny Nr N N112 553138.

Rozdział 1

Zasoby naturalne a wzrost gospodarczy – podstawowe problemy

1.1. Rola zasobów naturalnych we wzroście gospodarczym

Od początku istnienia współczesnych nauk ekonomicznych jednym z najważniejszych zagadnień stał się problem bogactwa narodów. Problem ten można w skrócie scharakteryzować następująco: jakie czynniki powodują, że niektóre kraje były biedne, a są bogate, niektóre były bogate, a są biedne, niektóre były bogate i są bogate, a niektóre były biedne i są biedne? Jednoznacznej odpowiedzi na to pytanie, jak dotąd, nie ma. Oczywiście przy tak postawionym problemie należy rozpocząć od odpowiedzi na prostsze pytanie – co to znaczy, że jakiś kraj, jakaś gospodarka jest „biedna" albo „bogata". Nie da się ukryć, że pojęcie „biedy" i „bogactwa" jest rozważane względnie, nietrudno bowiem udowodnić, że poziom życia sprzed lat, powiedzmy pięćdziesięciu, w dniu dzisiejszym uznany zostałby za niewystarczający, by nazywać go przynajmniej średnim. Rozwój gospodarczy społeczeństw spowodował, iż kolejne pokolenia mają do dyspozycji coraz więcej coraz bardziej zaawansowanych technologicznie dóbr i usług. Trudno jest także wyrokować o wyglądzie, kształcie i postaci tych dóbr w najbliższej przyszłości, albowiem nieznane są nam jeszcze efekty postępu technicznego.

Pośród wielu czynników, które sprawiają, iż jedne gospodarki są bogatsze niż inne, intuicja każe nam wymienić ich wyposażenie w zasoby natural-

ne. Nietrudno zauważyć, że zarówno w teorii, jak i w empirii, zasoby naturalne pojawiają się jako jeden z czynników determinujący poziom rozwoju gospodarczego oraz tempo wzrostu PKB *per capita* w czasie. Jak słusznie zauważa Dasgupta (1993), każde produkowane dobro wymaga jakichś składników, które pochodzą z natury, czy to jako składnik, czy też jako źródło energii. Te gospodarki, które są lepiej wyposażone (zarówno pod względem ilości, jak i różnorodności) w zasoby naturalne powinny być gospodarkami bogatszymi. Dotychczasowe badania pokazują jednakże niejednoznaczne wyniki w analizie tej zależności.

Matsuyama (1992) prowadzi swoje rozważania przy użyciu modelu gospodarki dwusektorowej. Jako jeden z sektorów jest przyjęte rolnictwo, drugim z nich jest przemysł. Skonstruowany przez niego model pokazuje dodatni wpływ wzrostu produktywności w rolnictwie na wzrost gospodarczy w przypadku warunków gospodarki zamkniętej (uwolnione poprzez wzrost produktywności zasoby siły roboczej przepływają z rolnictwa do przemysłu, gdzie przekładają się na wzrost produkcji) oraz ujemny w warunkach gospodarki otwartej (przy założeniu, że modelowana gospodarka jest względnie mała, tzn. przyjmuje ceny dóbr importowanych jako dane). Matsuyama, traktując żyzną ziemię jako jeden z zasobów naturalnych, dochodzi zatem do wniosku o niekonkluzywnym jej wpływie na wzrost gospodarczy.

Przeprowadzone w pracy Sachsa, Warnera (1995) badania empiryczne prowadzą do zaskakującego na pierwszy rzut oka wniosku, iż wyższe wyposażenie gospodarki w zasoby naturalne wpływa ujemnie na tempo wzrostu gospodarczego. Jako zmienną obrazującą wyposażenie gospodarki w zasoby naturalne przyjęto w omawianej pracy udział eksportu zasobów naturalnych w PKB ogółem. Kierunek tej zależności jest zdaniem autorów wynikiem wpływu, jaki zasoby naturalne mają na rodzaj prowadzonej polityki handlu zagranicznego oraz stopień biurokratyzacji[1]. Ma to być związane z niechęcią danych krajów do wolnorynkowych zachowań, co wynikać ma z dużej wagi, jaką podmioty rządzące przypisują zasobom naturalnym. Większy stan ich posiadania prowadzi bowiem z reguły do bardziej protekcjonistycznej polityki gospodarczej, co w naturalny sposób wpływa na spowolnienie rozwoju gospodarczego[2]. Z rozważań zawartych we wspomnianej pracy wynika istnienie jeszcze jednego, prawdopodobnego kanału wpływu, wprost związanego z neoklasyczną teorią wzrostu gospodarczego. Wydaje się bowiem,

[1] Autorzy omawianej pracy przyznają jednak, że ten akurat kanał wpływu nie wydaje się szczególnie silny.

[2] Znane są jednak w literaturze opinie odmienne, na mocy których pewien poziom protekcjonizmu gospodarczego stanowi właściwą politykę gospodarczą wobec rywalizacji międzynarodowej, por. np. Leff (1964), Huntington (1968).

iż kreatywność ludzka uwalnia się najbardziej w rozwoju produktów sektora dóbr i usług. Jeżeli zatem polityka gospodarcza jest nakierowana na zatrudnienie jak największej ilości zasobów w sektorze wydobywczym i eksportowym, zmniejsza się ilość zachęt do prowadzenia aktywności badawczo-rozwojowych, będących głównym motorem postępu technicznego. To oczywiście prowadzi do zmniejszenia się jego tempa wzrostu, co, na mocy np. prostego modelu Solowa z egzogenicznym postępem technicznym neutralnym w sensie Harroda[3], prowadzi także do niższego tempa wzrostu PKB *per capita*. Wspomnieć w tym miejscu należy, że słynna praca Sala-i-Martin (1997) wskazuje wykorzystywaną przez Sachsa i Warnera zmienną (udział eksportu zasobów naturalnych w PKB ogółem) jako zmienną z wysokim prawdopodobieństwem skorelowaną z poziomem wzrostu gospodarczego i odporną w tej korelacji na specyfikację równania.

W późniejszej pracy (Sachs, Warner 2001) ci sami autorzy wzmacniają argumentację poprzez poszerzenie dowodów empirycznych wiążących wysoki poziom bogactw naturalnych z niskim tempem wzrostu PKB *per capita*. Wykorzystując próbę 99 krajów i proste modele regresji liniowej wskazują, że zaproponowana przez nich zmienna, obrazująca stopień wyposażenia gospodarki w zasoby naturalne, ma jednoznacznie istotny statystycznie ujemny wpływ na stopę wzrostu PKB *per capita* na przestrzeni lat 1970–1989. Zmienną tą jest zdaniem autorów udział eksportu zasobów naturalnych w całym PKB[4]. Sachs i Warner twierdzą, iż procesy gospodarcze związane z wydobyciem i eksportem zasobów naturalnych redukują poprzez konieczność przesunięcia zasobów kapitału fizycznego i ludzkiego inne aktywności, które z kolei mają pozytywny wpływ na wzrost gospodarczy. Komentują w tejże pracy artykuł Gylfasona (2001), gdzie jako przykład takiej „wypychanej" aktywności podana jest edukacja. Sachs i Warner dodają jednak, iż można rozszerzyć tą argumentację nie tylko na edukację (czyli akumulację

[3] Jak słusznie pisze D. Romer „Model Solowa jest punktem wyjścia niemal każdej analizy wzrostu. Nawet te modele, które w sposób zasadniczy odbiegają od modelu Solowa, często najłatwiej można zrozumieć przez porównanie z tym modelem. Zrozumienie tego modelu ma więc istotne znaczenie dla rozumienia teorii wzrostu" (por. Romer 2006, s. 24). Mankiw dodaje, że „Jeśli makroekonomiści - praktycy mają odpowiedzieć na pytania dotyczące wzrostu długookresowego, przeważnie zaczynają od analizy prostego, neoklasycznego modelu wzrostu" (por. Mankiw 1995, s. 275, za: Kawa 2005, s. 10.). Kolejni autorzy posługujący się modelami wzrostu praktycznie zawsze do tej reguły się stosują, akcentując zawsze podobieństwa i różnice pomiędzy ich modelami, a modelem Solowa.

[4] Badania te przeprowadzane są przy udziale także innych zmiennych, m.in. stopy inwestycji, stopnia otwartości gospodarki, startowego poziomu PKB *per capita*, mającego wychwytywać efekty konwergencyjne w estymacji. Za każdym razem zaproponowana zmienna wykazuje ujemny wpływ na stopę wzrostu gospodarczego.

kapitału ludzkiego), ale też na wszelkie formy zachowań przedsiębiorczych, których zakres zmniejsza się wraz z odkryciem złóż zasobów naturalnych.

W pracy Gylfasona (2001) wymienione są aż cztery kanały negatywnego wpływu bogactwa zasobów naturalnych na rozwój gospodarczy. Po pierwsze jest to „holenderska choroba" (*Dutch Disease*)[5], której jednym z głównych objawów jest przewartościowanie krajowej waluty. Nagłe odkrycie złóż zasobów naturalnych prowadzi do szybkiego i gwałtownego wzrostu eksportu tychże surowców, co umacnia walutę i obniża wszelki pozostały eksport, w tym przemysłowy. Po drugie, rządy krajów, które są bogate w złoża zasobów naturalnych, mają tendencje protekcjonistyczne. Powoduje to wzmaganie się korupcji i wpływa ujemnie na tempo wzrostu gospodarczego[6]. Po trzecie, Gylfason ((2001, s. 850) pisze, że „bogaci rodzice czasem rozpuszczają swoje dzieci. Matka Natura nie jest wyjątkiem". Posiadanie przez gospodarkę określonego poziomu zasobów naturalnych budzi fałszywe poczucie bezpieczeństwa, co powoduje, iż podmioty rządzące tracą z pola widzenia tak istotne dla wzrostu gospodarczego aspekty jak jakość instytucjonalna, wolny handel czy racjonalne zarządzanie ekonomiczne[7]. Po czwarte Gylfason pisze, iż nacje, które żyją w przekonaniu, że zasoby naturalne są ich najważniejszym aktywem, świadomie odsuwają na dalszy plan rozwój kapitału ludzkiego. Na dowód swoich rozważań, prezentuje wyniki własnych badań empirycznych świadczących o ujemnej, istotnej statystycznie korelacji pomiędzy wybranymi wskaźnikami, reprezentującymi inwestycje w kapitał ludzki[8], a udziałem bogactwa naturalnego w bogactwie narodowym ogółem w próbie ponad 80 krajów. Ponieważ inwestycje w kapitał ludzki są oczywiście silnie pozytywnie skorelowane z tempem wzrostu gospodarczego, badania te wskazują zatem na ujemną zależność pomiędzy stopniem wyposażenia gospodarki w zasoby naturalne a wzrostem PKB. Jest to zdaniem Gylfa-

[5] Nazwa tego zjawiska pochodzi od sytuacji, jaka miała miejsce w latach 60. XX w. w gospodarce Holandii. Po odkryciu złóż gazu na holenderskich wodach terytorialnych, mimo pozytywnych prognoz ekonomicznych, gospodarka holenderska rozwijała się wolniej niż przed dokonaniem tego odkrycia. W literaturze znaleźć można różne teorie występowania tego zjawiska, patrz np. Bruno, Sachs (1982).

[6] Teza o negatywnym wpływie korupcji oraz ogólnie, niskiej efektywności administracji państwowej na tempo wzrostu gospodarczego jest przedmiotem wielu badań, m.in. Mauro (1995).

[7] W pracy Gylfason: (2001), s. 848, podane są słowa króla Arabii Saudyjskiej, Faisala, który w trakcie rozmowy ze swoim ministrem powiedział: „W ciągu jednego pokolenia przesiedliśmy się z wielbłądów do cadillaców. Jeżeli dalej będziemy tak marnotrawić pieniądze, to obawiam się, że następne pokolenie znów będzie jeździć na wielbłądach".

[8] M.in poziomem wydatków na edukację, przeciętnym czasem spędzonym przez obywateli w szkołach czy odsetkiem obywateli ze średnim wykształceniem.

sona spowodowane nie tylko osłabieniem instytucjonalnym, ale też innymi czynnikami, głównie drastycznym zmniejszeniem publicznych i prywatnych zachęt do akumulacji kapitału ludzkiego. Przemysł wydobywczy, z samej swojej natury, w większości nie wymaga wykształconych pracowników, stąd rozrost tego sektora obniża wspomniane zachęty.

Dość ciekawym uzupełnieniem rozważań zawartych w powyżej omówionych pracach są badania empiryczne zawarte w artykule Sala-i-Martina, Subramaniana (2003). Autorzy spostrzegli, że w regresjach, w których zmienną objaśnianą jest wskaźnik jakości instytucjonalnej rządu[9], mierniki uzależnienia gospodarki od zasobów naturalnych mają ujemny znak. Oznacza to, że w krajach, w których wpływy z zasobów naturalnych stanowią większą część PKB, występuje tendencja do występowania niższej jakości instytucjonalnej, obniżenia praworządności oraz wzrostu korupcjogenności.

Z omówionych prac wynika, iż rządy gospodarek biednych nie powinny być zachęcane do wydobywania zasobów naturalnych, lecz wprost przeciwnie – wydobywanie ich bowiem spowolni i tak niewysokie tempo wzrostu gospodarczego. Taka implikacja polityczna ma dość znaczące efekty dla zachowania całej gospodarki. Sachs i Warner jednakże w przeprowadzonych badaniach empirycznych używali jako zmiennej odzwierciedlającej wyposażenie gospodarek w bogactwa naturalne relacji wielkości eksportu zasobów naturalnych do PKB ogółem. Stijns (2005) podważa ten wybór, twierdząc, że czym innym jest naturalne bogactwo gospodarki, a czym innym eksport tychże zasobów. Powtarza zatem eksperymenty empiryczne z pracy Sachsa, Warnera (1995), przyjmując jednak w regresjach inne zmienne jako aproksymanty wyposażenia gospodarki w zasoby naturalne. Otrzymane wyniki prowadzą do wniosków, iż wszelkie zasoby naturalne (za wyjątkiem areału ziemi, traktowanego jako zasób naturalny *per se*) mają zarówno dodatnie, jak i ujemne kanały wpływu na tempo wzrostu gospodarczego, a ich łączny kierunek wpływu nie jest ściśle określony. Poddaje to zatem w wątpliwość wyniki Sachsa i Warnera, wskazując na niejednoznaczność tego wpływu w przypadku różnych rodzajów zasobów. Tabela 1.1 zawiera współczynniki korelacji pomiędzy rezerwami poszczególnych typów zasobów naturalnych *per capita* a rozmaitymi zmiennymi i wskaźnikami makroekonomicznymi: indeksem korupcji, indeksem otwartości gospodarki, stopą inwestycji, udziałem młodzieży uczęszczającej do szkół podstawowych, udziałem młodzieży uczęszczającej do szkół średnich oraz przeciętną ilością lat edukacji. Jako zasoby naturalne użyte zostały: wielkość areału ziemi, zasoby ropy naftowej,

[9] Konkretnie użyty został miernik zwany *Rule of Law*, obrazujący stopień praworządności w danej gospodarce.

Tabela 1.1. Współczynniki korelacji pomiędzy poszczególnymi rezerwami per capita zasobów naturalnych a wybranymi wielkościami makroekonomicznymi.

	Korupcja	Otw. gosp.	Stopa inw.	Edu. podst.	Edu. śred.	Lata edu.
Ziemia	0,19	−0,39	−0,21	−0,19	−0,14	−0,16
Ropa naftowa	0,0	0,0	0,21	0,4	0,0	0,10
Gaz ziemny	0,0	0,2	0,24	0,1	0,6	0,10
Węgiel	−0,21	0,15	0,21	−0,12	0,18	−0,12
Minerały 1	−0,21	0,19	0,20	−0,8	0,37	−0,18
Minerały 2	−0,12	0,17	0,10	0,6	0,26	0,4

Źródło: Stijns (2005).

gazu ziemnego, węgla oraz dwa pierwsze wspólne czynniki[10] dla zestawu 57 rozmaitych minerałów. Próba zawierała 95 państw[11]. Wyniki wskazują, iż różne rodzaje zasobów naturalnych mają różne współczynniki korelacji (nawet różnego znaku) z istotnymi wskaźnikami makroekonomicznymi, np. liczba lat edukacji jest pozytywnie skorelowana z zasobami ropy naftowej i gazu ziemnego, lecz z węglem, areałem ziemi oraz z pierwszym głównym czynnikiem minerałów – ujemnie. Trudno zatem wysnuwać generalne wnioski dotyczące wpływu wyposażenia gospodarki w zasoby naturalne na jej poziom bogactwa bądź tempo wzrostu PKB *per capita*.

W kolejnej pracy Stijns (2006), odpowiadając na argumenty Gylfasona, potwierdza, że bogactwo naturalne prowadzi do fałszywego poczucia bezpieczeństwa, lecz, mimo to, niewielka część dodatkowego dochodu otrzymywanego ze sprzedaży wydobytych zasobów naturalnych jest przeznaczana na akumulację kapitału ludzkiego. W pracy tej zawarte są badania empiryczne, które częściowo zaprzeczają wywodom Gylfasona. Różnicę w wynikach Stijns tłumaczy przyjęciem innych mierników bogactwa naturalnego – Gylfason przyjmuje stosunek kapitału „naturalnego" do całkowitego zasobu bogactwa, a Stijns – wielkość tego kapitału *per capita*. Tłumaczy on swój wybór zbyt szerokim zakresem miernika użytego przez Gylfasona, który obejmował też lasy, tereny uprawne itp. Z pracy Stijnsa (2006) wypływa wniosek dla polityki gospodarczej o tworzeniu zachęt do wydobywania zasobów naturalnych, zwłaszcza wtedy, gdy zasoby kapitału ludzkiego są małe.

[10] Mowa tu o czynnikach (*principal component*) w kontekście analizy czynnikowej.

[11] W zależności od współczynnika korelacji liczba użytych obserwacji wahała się od 56 do 95.

Wyniki Sachsa i Warnera potwierdza praca Dinga i Fielda (2005), lecz uzyskane oszacowania autorzy interpretują w inny sposób. Ich zdaniem zmienna używana w badaniach empirycznych przez Sachsa i Warnera jako zmienna odzwierciedlająca wyposażenie gospodarki w zasoby naturalne nie posiada takiej interpretacji, jest natomiast miarą uzależnienia gospodarki od zasobów naturalnych. Wraz z wysokim udziałem eksportu zasobów naturalnych w PKB ogółem w gospodarce występuje mniejszy udział wszelkiej innej produkcji. Samo posiadanie zasobów naturalnych nie musi zatem, zdaniem autorów, prowadzić do obniżenia tempa wzrostu gospodarczego. Jako przykład podają słynące z bogactwa złóż naturalnych Stany Zjednoczone, których produkcja nie jest jednak od tych złóż uzależniona w stopniu tak dużym, jak bywa to w innych krajach, które z kolei aż tak dużych złóż nie posiadają, np. Tanzania. Ding i Field przeprowadzają zatem regresję wzrostu gospodarczego względem klasycznych zmiennych (startowego PKB *per capita*, stopy inwestycji, stopnia otwartości gospodarki itp.) z uwzględnieniem dwóch kolejnych. Jedną z nich jest zmienna używana przez Sachsa i Warnera (tu nazwana *RD – resource dependence*) oraz zmienna odzwierciedlająca bogactwo zasobów naturalnych w gospodarce (tu nazwana *RE – resource endownment*), będącą wielkością wartości zasobów naturalnych per capita w danej gospodarce. Przeprowadzone estymacje pokazują, że wyposażenie w zasoby naturalne ma dodatni wpływ na tempo wzrostu gospodarczego, a uzależnienie gospodarki od zasobów naturalnych – ujemny.

W przytoczonych artykułach ukazana została niejednoznaczność wpływu występowania w gospodarce złóż zasobów naturalnych na tempo wzrostu gospodarczego. Badania empiryczne wskazują na pozytywny wpływ bogactwa w zasoby naturalne na poziom PKB per capita, lecz na ujemny wpływ wielkości sektora wydobywczego na tempo wzrostu tej zmiennej. Jako przyczyna wskazywana jest niewielka rola postępu technicznego w wydobywaniu złóż. W istocie – sam fakt posiadania dużej ilości rozmaitych zasobów naturalnych nie może determinować dobrobytu ani go gwarantować. Pojedyncze przykłady rozmaitych krajów, które znane są ze swojego dużego bądź małego wyposażenia w zasoby naturalne wskazują na duże możliwości drzemiące w zasobach naturalnych, ale też i na niemałe możliwości zmarnowania takiego kapitału. Wydaje się zatem, że to nie samo wyposażenie gospodarki określa jej bogactwo, ale to, co w danej gospodarce z takim kapitałem się czyni. Można bowiem zarówno uzyskany w ten sposób kapitał spieniężyć i skonsumować, albo też zamienić go w kapitał trwały bądź odpowiedni kapitał ludzki, który owocować będzie przez kolejne lata.

Spróbujmy wskazać przyczyny niższego tempa wzrostu gospodarczego w gospodarce, która posiada zasoby naturalne oraz rozwinięty sektor wydo-

bywczy. Rozważmy model gospodarki zamkniętej, dwusektorowej, z egzogenicznym postępem technicznym[12].

Pierwszym z sektorów jest sektor wydobywczy. Produkcja tego sektora polega na eksploatacji złóż zasobów naturalnych oraz ich sprzedaży. W proces wydobycia jest oczywiście zaangażowana pewna ilość kapitału fizycznego oraz pewna część zasobów sił pracy występujących w gospodarce. Dla uproszczenia zakładamy, iż cena zasobu jest stała. Nie rozważamy też problemu wielkości zasobów znajdujących się w danej gospodarce. Także dla uproszczenia zakładamy, że postęp technologiczny nie ma wpływu na procesy produkcyjne w sektorze wydobywczym[13].

Drugi z sektorów to sektor produkcji przemysłowej. Używane w nim rozwiązania technologiczne dostarczane są do gospodarki z zewnątrz i mają wpływ na wielkość produkcji. W sektorze tym zatrudniona jest pozostała część zasobów sił pracy oraz zasobów kapitału fizycznego. Czynniki produkcji pomiędzy pierwszym a drugim sektorem są doskonale substytucyjne – mogą swobodnie przepływać, bez strat na efektywności i konieczności dostosowania.

Mamy zatem w modelowanej gospodarce pewną ilość zasobów sił pracy L[14], która rośnie w stałym tempie n. Pewna część tych zasobów, L_1 pracuje w sektorze pierwszym, $L_2 = L - L_1$ – w drugim.

Gospodarka posiada także pewien zasób K kapitału fizycznego, z czego K_1 używane jest w sektorze pierwszym, $K_2 = K - K_1$ w sektorze drugim. Ewolucja kapitału przebiega w zgodzie ze standardowymi założeniami teorii wzrostu[15]:

[12] Pierwsza wersja niniejszego modelu zawarta została w pracy Malaczewski: (2011a).

[13] Oczywiście jest mocno dyskusyjne założenie, że produkcja sektora wydobywczego nie wykorzystuje zdobyczy technologicznych. Założenie to osiągamy poprzez wymaganie, aby łączna produktywność czynników produkcji (TFP) w sektorze przemysłowym rosła (np. w stałym, egzogenicznym tempie), a w sektorze wydobywczym nie. Wystarczy założyć, że produkcja w sektorze wydobywczym jest słabiej uzależniona od poziomu technologicznego niż produkcja w sektorze przemysłowym i że różnica temp wzrostu postępu technicznego w obu sektorach jest w przybliżeniu równa założonej w modelu stopie wzrostu TFP w sektorze drugim.

[14] Zmienną tę klasycznie w teorii wzrostu gospodarczego utożsamia się z ilością osób aktywnych zawodowo w gospodarce. Odrębnym problemem jest zagadnienie, czy jest to dobry miernik.

[15] Więcej o akumulacji i alokacji kapitału w gospodarkach wolnorynkowych przeczytać można w pracy Kiedrowski: (2007).

$$\dot{K} = sY - \lambda K,$$

gdzie s jest stopą oszczędności/inwestycji [16], λ – stopą deprecjacji kapitału.

Wielkość łącznej produkcji Y składa się z produkcji sektora pierwszego Y_1 i z produkcji sektora drugiego Y_2. Wielkość łącznej produkcji w sektorze pierwszym dana jest wzorem

$$Y_1 = BK_1^{\alpha} L_1^{1-\alpha},$$

gdzie $\alpha > 0$, a B jest pewną stałą, odzwierciadlającą poziom technologiczny przemysłu wydobywczego. Ponieważ wielkość ta nie zmienia się w czasie, sektor wydobywczy jest uważany za sektor, na który postęp techniczny nie ma wpływu. Nowe rozwiązania technologiczne nie podnoszą wielkości produkcji w tym sektorze, co jest zgodne z sugestiami Sachsa i Warnera.

Funkcja produkcji w sektorze drugim jest postaci

$$Y_2 = K_2^{\beta}(AL_2)^{1-\beta},$$

gdzie A jest zmienną określającą poziom technologii używanej w produkcji w sektorze przemysłowym, a $\beta > 0$. Ze względu na wspomniany wcześniej egzogeniczny postęp techniczny zakładamy, że występuje stały wzrost poziomu A o stopie g:

$$\dot{A} = gA.$$

Łączna wielkość produkcji jest zatem dana wzorem

$$Y = Y_1 + Y_2 = BK_1^{\alpha} L_1^{1-\alpha} + K_2^{\beta}(AL_2)^{1-\beta}.$$

Nietrudno zauważyć, że tak skonstruowana funkcja produkcji jest jednorodna stopnia pierwszego względem K i L tylko wtedy, gdy udziały czynników produkcji kierowanych do poszczególnych gałęzi pozostają niezmienione[17]. W innym przypadku podwojenie nakładów czynników produkcji i użycie ich w nieproporcjonalny sposób zmieni wielkość produkcji inaczej niż dwukrotnie. Można zatem podnieść poziom produkcji bez zwiększania nakładów poszczególnych czynników produkcji, wystarczy jedynie rozlokować je w sposób maksymalizujący łączną produkcję w obu sektorach. Oczywiście mamy też:

[16] Tzn. udziałem produktu, który nie ulega konsumpcji, a jest następnie przeznaczony na inwestycje w kapitał fizyczny.

[17] Przykład ten pokazuje też, że istnieje problem agregacji funkcji produkcji na poziomie sektorowym do łącznej funkcji produkcji gospodarki, która mogłaby spełniać założenia neoklasycznej funkcji produkcji. Zagadnienie to, niezwykle ciekawe, jest omówione w pracy Growiec: (2012).

$$y = \frac{Y}{L} = \frac{Y_1 + Y_2}{L_1 + L_2} = \frac{Y_1}{L_1 + L_2} + \frac{Y_2}{L_1 + L_2} =$$
$$= \frac{Y_1}{L_1} \cdot \frac{L_1}{L_1 + L_2} + \frac{Y_2}{L_2} \cdot \frac{L_2}{L_1 + L_2} = y_1 \cdot \frac{L_1}{L_1 + L_2} + y_2 \cdot \frac{L_2}{L_1 + L_2},$$

czyli wielkość produkcji na zatrudnionego jest średnią ważoną wydajności pracy w obu sektorach (y_1 i y_2), gdzie wagami są udziały sił pracy skierowanych do poszczególnych sektorów w łącznych zasobach L. Stopa wzrostu produktu na jednostkę pracy dana jest wzorem

$$\frac{\dot{y}}{y} = \frac{\dot{y}_1}{y_1} \cdot \frac{Y_1}{Y_1 + Y_2} + \frac{\dot{y}_2}{y_2} \cdot \frac{Y_2}{Y_1 + Y_2} + \frac{\dot{L}_1}{L_1} \cdot \frac{Y_1}{Y_1 + Y_2} + \frac{\dot{L}_2}{L_2} \cdot \frac{Y_2}{Y_1 + Y_2} - n,$$

czyli tempo wzrostu y jest tempem wzrostu w obu gałęziach ważonym ich udziałami w całej produkcji. Jeżeli zasoby sił pracy w obu sektorach rozwijają się w tempie n, to ostatnie trzy składniki sumy redukują się.

Zauważmy, że jeżeli w gospodarce nie ma złóż zasobów naturalnych, to $L_1 = K_1 = Y_1 = 0$, a zatem cały model sprowadza się, do równań:

$$\dot{L} = \dot{L}_2 = nL_2,$$

$$\dot{K} = \dot{K}_2 = sY_2 - \lambda K_2,$$

$$\dot{A} = gA,$$

$$Y = Y_2 = K_2^{\beta}(AL_2)^{1-\beta},$$

czyli do modelu Solowa z postępem technicznym neutralnym w sensie Harroda. Rozwiązanie takiego modelu jest znane, w długim okresie produkcja *per capita* rośnie w stałym tempie g (zob. Romer 2000).

Załóżmy teraz, że w gospodarce następuje odkrycie złóż oraz, tym samym, uruchomienie produkcji pierwszego sektora. Następuje wówczas przepływ części czynników produkcji z sektora przemysłowego do sektora wydobywczego. Przemieszczanie się zasobów czynników produkcji pomiędzy sektorami trwa tak długo, aż wyrównają się krańcowe produktywności czynników produkcji w obu gałęziach. Oznacza to, że

$$\begin{cases} \dfrac{\partial Y_1}{\partial K_1} = \dfrac{\partial Y_2}{\partial K_2} \\ \dfrac{\partial Y_1}{\partial L_1} = \dfrac{\partial Y_2}{\partial L_2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \alpha B K_1^{\alpha-1} L_1^{1-\alpha} = \beta K_2^{\beta-1}(AL_2)^{1-\beta} \\ (1-\alpha) B K_1^{\alpha} L_1^{-\alpha} = (1-\beta) K_2^{\beta}(A)^{1-\beta} L_2^{-\beta} \end{cases}.$$

Rozwiązanie powyższego układu równań ze względu na zasoby czynników produkcji pozwala nam wyznaczyć równowagowe wielkości K_1 i L_1, pamiętając, że przed uruchomieniem sektora wydobywczego całe zasoby czynników produkcji zatrudnione były w sektorze drugim. Suma zatem poszczególnych zasobów czynników produkcji zatrudnionych w obu sektorach musi równać się łącznym zasobom, czyli $K_2 = K - K_1$ i $L_2 = L - L_1$. Zauważmy, że

$$BK_1^{\alpha}L_1^{1-\alpha} + K_2^{\beta}(AL_2)^{1-\beta} \geqslant K^{\beta}(AL)^{1-\beta},$$

w przypadku gdy K i L są stałe[18]. Rozważmy pierwszą gałąź gospodarki. W przypadku gdyby całe nakłady czynników produkcji kierowane były do tej gałęzi (a zatem produkcja przemysłowa byłaby równa zero), równania opisujące ją byłyby następującej postaci:

$$\dot{L}_1 = nL_1,$$

$$\dot{K}_1 = sY_1 - \lambda K_1,$$

$$Y_1 = BK_1^{\alpha}L_1^{1-\alpha}.$$

Równania te opisują klasyczny model Solowa, bez postępu technicznego. Oznacza to zatem, że w długim okresie produkcja *per capita* jest stała, jej tempo wzrostu wynosi zero. Przy proporcjonalnym wzroście zasobów czynników produkcji w obu sektorach, poziom wzrostu produkcji per capita w całej gospodarce jest średnią ważoną temp wzrostu produkcji w obu sektorach, gdzie wagami są udziały zasobów sił pracy zatrudnionych w poszczególnych sektorach. W krótkim okresie tempo wzrostu może przyjmować

[18] Dowód jest tutaj następujący: połóżmy $f(K_1, L_1) = BK_1^{\alpha}L_1^{1-\alpha} + (K - K_1)^{\beta}(A(L - L_1))^{1-\beta}$. Funkcja f obrazuje sumę wielkości produkcji w obu sektorach. Zauważmy, że $f(0,0) = K^{\beta}(AL)^{1-\beta}$. Mamy

$$\frac{\partial f}{\partial K_1} = \alpha BK_1^{\alpha-1}L_1^{1-\alpha} - \beta(K - K_1)^{\beta-1}(A(L - L_1))^{1-\beta},$$

$$\frac{\partial f}{\partial L_1} = (1-\alpha)BK_1^{\alpha}L_1^{-\alpha} - (1-\beta)(K - K_1)^{\beta}A^{1-\beta}(L - L_1)^{-\beta}.$$

Zauważmy, że obie pochodne cząstkowe wyznaczają punkt stacjonarny dokładnie w punkcie, w którym zrównują się krańcowe produktywności w obu sektorach. Można pokazać, że hesjan jest określony ujemnie. Oznacza to, że f osiąga maksimum w punkcie, w którym zrównują się produktywności. To z kolei prowadzi do wniosku, że wzrost łącznej produkcji uzyskany dzięki uruchomieniu sektora pierwszego jest większy niż spadek produkcji w sektorze drugim płynący z obniżenia nakładów obu czynników. Wniosek ten płynie z faktu, że w punkcie $(0,0)$, a zatem w sytuacji gdy uruchomiony jest tylko jeden sektor, produkcja jest niższa, niż w przypadku, gdy uruchomione są oba sektory, a czynniki produkcji zostały rozmieszczone optymalnie.

dowolne wartości, zależne od zmian w zasobach czynników produkcji, w długim okresie jednak tempo wzrostu y jest niższe niż g. Wraz ze zmniejszaniem się jednak udziału produkcji sektora wydobywczego w łącznej wielkości produkcji (co następować będzie ze względu na postęp techniczny i rosnącą produktywność czynników produkcji w drugim sektorze, a więc także i ze względu na przepływ tych czynników do produkcji przemysłowej), tempo wzrostu produkcji *per capita* rośnie, aby w nieskończoności osiągnąć poziom g.

W uzyskanej równowadze zatem łączne długookresowe tempo wzrostu y jest niższe niż byłoby, gdyby sektor wydobywczy nie funkcjonował. Mamy zatem dodatni wpływ zasobów na bogactwo (zwiększony poziom PKB *per capita*), ale ujemny na stopę wzrostu w długim okresie. To wyjaśnia wyniki uzyskane przez Sachsa i Warnera. Większy udział produkcji sektora wydobywczego w całym produkcie daje także większy udział eksportu zasobów naturalnych w łącznym eksporcie, co oznacza duże uzależnienie gospodarki od tego sektora (jak sugeruje Stijns).

Oczywiście niski stopień zaawansowania technologicznego powoduje, że udział sektora wydobywczego w takich gospodarkach jest relatywnie duży, co również w istotny sposób ogranicza tempo wzrostu gospodarczego. Przykłady krajów, które są bogate w złoża i mają niemałe tempo wzrostu, jak USA, pokazują, że zaawansowanie technologiczne sektora przemysłowego ogranicza negatywną rolę sektora wydobywczego. W takich przypadkach złoża nie mają negatywnego wpływu na wzrost gospodarczy. Podobnie tłumaczy to przypadek Holandii, która dość szybko podniosła się z *Dutch disease*. Inne kraje, np. Wenezuela, mające duże złoża zasobów naturalnych, ale relatywnie niski poziom technologii, są bardziej podatne na jej symptomy. Oczywiście zgodnie z sugestią Stijnsa (2005) istnieje także dodatni kanał oddziaływania wielkości zasobów naturalnych na wzrost gospodarczy, gdyż przyrost produkcji, płynący z zaangażowania części czynników produkcji w pracę w nowym sektorze gospodarki, w części przynajmniej jest przeznaczany na akumulację kapitału ludzkiego. Sugeruje to oczywiście konieczność rozbudowy zarysowanego modelu w tym kierunku.

1.2. Sprawiedliwość międzypokoleniowa

Jak wynika z przeprowadzonych w poprzednim podrozdziale rozważań, wraz z problemem zależności pomiędzy wyposażeniem gospodarki w zasoby naturalne a wzrostem gospodarczym pojawia się problem racjonalnego nimi gospodarowania. To bezpośrednio prowadzi do eksponowanego dość często

w dyskusjach o ekologii problemu sprawiedliwości międzypokoleniowej. Wydaje się, że musi ona być nieodłącznie związana z pytaniem dotyczącym tego, co z uzyskanymi zasobami naturalnymi należy począć. Wydobywanie bowiem zasobów naturalnych w okresie bieżącym oraz natychmiastowe konsumowanie uzyskanych z jego sprzedaży przychodów zmusza nas do refleksji nad sprawiedliwym podziałem zysków pomiędzy pokolenie obecne oraz pokolenia przyszłe. Eksploatacja bowiem złóż w dzisiejszych czasach oznacza ich zmniejszenie i, tym samym, pozostawienie mniejszego ich zasobu przyszłym pokoleniom. Jeżeli geologiczne teorie powstawania zasobów naturalnych są słuszne, to tworzenie się nowych zasobów np. ropy naftowej, związane jest z niezwykle długimi okresami czasu, sięgającymi dziesiątek tysięcy, może nawet milionów lat. Bezpośrednio po nas żyjące pokolenia będą zatem musiały zmierzyć się z faktem posiadania mniejszych złóż wszelkich zasobów naturalnych niż pokolenie obecne.

W jaki sposób zatem można dążyć do sprawiedliwego podziału zasobów pomiędzy pokolenia teraźniejsze i przyszłe tak, by nie naruszyć tym samym dobrobytu i praw żadnego z tych pokoleń? Jedną z reguł postępowania wyznaczył Hartwick (1977). Ta krótka, zaledwie trzystronicowa praca, jest w literaturze ekonomii zasobów naturalnych bardzo często cytowana ze względu na wyprowadzone w niej implikacje polityczne. Reguła postępowania, która ma zapewnić równość międzypokoleniową, brzmi: inwestuj w odnawialny kapitał przychody z wydobycia nieodnawialnego zasobu naturalnego. Przyszłe pokolenia wówczas co prawda napotkają niższą wartość kapitału naturalnego (mniejsze zasoby naturalne), lecz propocjonalnie większą wartość kapitału fizycznego, co nie spowoduje obniżenia wielkości produkcji[19]. To implikuje stałą wielkość zasobów łącznego kapitału[20] w czasie, czyli zapewnia wspomnianą równość międzypokoleniową. W literaturze taka reguła postępowania nazywana jest regułą Hartwicka (*Hartwick's Rule*). Zauważyć jednak należy, że oznacza to zamianę jednej formy kapitału na drugi.

W dyskusji dotyczącej równości międzypokoleniowej w świetle ograniczonych zasobów naturalnych głos zabrał także Stern (1997). Stwierdza on, że rozwój zrównoważony to taki, który odpowiada na potrzeby obecnej ge-

[19] Oczywiście tylko pod warunkiem, że te formy kapitału są względem siebie substytucyjne. Dyskusję na ten temat znaleźć można w rozdz. 2.

[20] Mowa tu o koncepcji liczenia kapitału w gospodarce z uwględnieniem sumy wartości kapitału fizycznego, ludzkiego, społecznego oraz naturalnego. Koncepcja ta jest dość trudna w realizacji ze względu na problemy pomiaru pozostałych składników sumy, próby jej wyznaczenia są jednak wciąż dokonywane.

neracji w taki sposób, by pozwolić przyszłym pokoleniom realizować swoje potrzeby. Autor zauważa, że w literaturze omawia się, czasem je myląc, dwa rodzaje zrównoważonego wzrostu – słaby i silny. Pierwszy z nich definiuje się jako taki, który mówi o tym, że kapitał zasobów naturalnych ma z innymi formami kapitału elastyczność substytucji równą jeden, a zatem można zastąpić go innymi formami. Problemem jest racjonalna realizacja tej substytucji. Abstrahując od tego, przy tak poczynionym założeniu, można traktować zasoby kapitału łącznie, dodając zasoby naturalne do innych form kapitału[21]. Bezpośrednią konsekwencją takiego podejścia jest to, iż reguła Hartwicka może mieć zastosowanie praktyczne – skoro bowiem zasoby ropy naftowej mają dokładny substytut w postaci jakiegoś odnawialnego kapitału fizycznego, to w istocie troska o równorzędne traktowanie obecnego i przyszłego pokolenia może objawiać się w ten sposób, iż dokonujemy inwestycji w kapitał fizyczny dokładnie w takiej wysokości, w jakiej ubytek kapitału naturalnego zanotowaliśmy poprzez wydobycie i sprzedanie części złóż ropy.

Druga, alternatywna forma zrównoważonego wzrostu, zwana także silną, stanowi, że należy zasoby kapitału naturalnego, we wszelkich jego postaciach, traktować osobno. Należy zatem także zadbać o utrzymywanie się wartości każdego zasobu z osobna stałej w czasie. Nie są bowiem one w żadnym sensie substytucyjne, a skoro tak, to ubytek jednej z ich form nie może zostać zastąpiony przez inne. Logiczną konsekwencją takiego podejścia jest to, iż niedopuszczalne jest użytkowanie jakiejkolwiek formy nieodnawialnych zasobów naturalnych, a użytkowanie odnawialnych zasobów może być dokonywane jedynie na poziomie ich naturalnego odtwarzania się.

Oczywiście w literaturze znaleźć jeszcze można pośrednie formy idei zrównoważonego wzrostu. Generalizując, można stwierdzić, iż zakładają one występowanie pewnej substytucyjności różnych form kapitału[22], tzn. np. kapitał fizyczny jest do pewnego stopnia substytutem dla kapitału naturalnego, ale istnieją pewne krytyczne formy kapitału, których zastąpienie nie jest możliwe. Należy zatem dbać o utrzymanie wystarczająco wysokiego ich poziomu, by przyszłe pokolenia nie stanęły przed problemem ich braku. Zdaniem Sterna bardziej racjonalne jest twierdzić, że kapitał fizyczny może przejąć niektóre role kapitału naturalnego, niż zakładać, że jest dla niego idealnym substytutem. Takie podejście stanowi racjonalne uzasadnienie

[21] Matematyczną konsekwencją tego jest fakt, że nie istnieją problemy agregacji różnych typów kapitału.

[22] W zależności od stopnia tej substytucyjności jesteśmy bliżej albo jednego, albo drugiego podejścia.

dla utrzymania pewnego poziomu zasobów naturalnych na rzecz przyszłych pokoleń, nie jest natomiast tak radykalne jak stanowisko „silne”[23].

Stern (1994) pisze, że ekosystemy mogą mieć własność powrotu do równowagi przy małych szokach, ale duże szoki mogą to uniemożliwić. Konieczne jest zatem dbanie o to, by takie „duże” szoki nie zaistniały, a jeśli zaistniały to po to, by zoptymalizować kształt środowiska. Najlepszy dla gospodarki jest zatem taki stan równowagi, gdzie maksymalny zrównoważony poziom fizycznej aktywności ekonomicznej jest zależny od maksymalizującego zysk (lub użyteczność) użycia istniejących zasobów nieodnawialnych przy odpowiednich ograniczeniach brzegowych. Chodzi tu o to, by nie tylko utrzymywać ten „zrównoważony” poziom zasobów kapitału, ale też by eliminować zagrożenia dla zrównoważenia. W opisanej sytuacji podmioty gospodarcze, które z reguły działają optymalnie podejmując racjonalne decyzje ekonomiczne (przynajmniej na poziomie agregatowym, w skali makro), wybierają ścieżki konsumpcji i podział zasobów charakterystyczny dla ścieżki zrównoważonej. Pokrywanie się ścieżki optymalnej społecznie ze ścieżką rynkowo optymalną można osiągnąć poprzez zastosowanie odpowiednich narzędzi polityki gospodarczej, jak np. odpowiednie opodatkowanie działalności eksploatującej środowisko naturalne i przeznaczenie tychże podatków na działania prowadzące do jego renowacji. W duchu tym znaleźć można wiele artykułów prowadzących odpowiednie obliczenia, m.in. seria prac Grimauda, Rouge'a (2003, 2005, 2008).

Dość istotny głos w dyskusji o sprawiedliwości międzypokoleniowej zabrał Solow (1974). Rozważa on optymalne rozwiązanie problemu równości międzypokoleniowej i zadaje dość podstawowe pytanie: jak poprawić sytuację jednej generacji bez pogarszania sytuacji drugiej. W toku swoich wywodów, polemizuje on z Johnem Rawlsem – autorem znanego traktatu filozofii politycznej *Teoria sprawiedliwości*, będącego teoretyczną próbą odejścia od zasad utylitarystycznych i przejścia do konstrukcji społeczeństwa, w którym zasady równości, rozumiane jako przymus jednakowego traktowania wszystkich jednostek, chyba że zachodzą istotne przyczyny do innych zachowań, stanowią także jedną z podwalin swoistej umowy społecznej. Solow polemizuje z Rawlsem i twierdzi, iż jego zdaniem „nierówności w rozkładzie dochodów mogą być uzasadnione tylko wtedy, gdy jest to warunek konieczny do poprawy sytuacji najuboższych jednostek. Innymi słowy, jeśli dobrobyt

[23] Co ciekawe, Stern pisze też, że da się zrozumieć i uzasadnić substytucję np. kapitału fizycznego i naturalnego, ale nie da się wytłumaczyć idei substytucji kapitałów naturalnych ze sobą, np. w jaki sposób ropa naftowa mogłaby być substytutem dla czystego powietrza. Ten interesujący argument może być użyty także w dyskusji nad substytucyjnością różnych form kapitału, przeprowadzoną w rozdz. 2.

społeczny [...] może być zapisany jako funkcja indywidualnych użyteczności [...], to Rawls argumentuje [...], by maksymalizować społeczny dobrobyt poprzez maksymalizację najniższego poziomu uzyteczności" (Solow 1974, s. 29, tłum. aut.). W takim razie społeczeństwo ma się tak dobrze, jak dobrze ma się jego najuboższy przedstawiciel. Solow wskazuje na dość oczywistą konsekwencję takiego stanowiska. Optymalnym postępowaniem w takiej sytuacji jest konsumowanie wszystkich wyprodukowanych dóbr. Jeżeli bowiem część dóbr się oszczędza dzisiaj, to oznacza to, że rezygnujemy z części konsumpcji dzisiejszej na rzecz konsumpcji przyszłej. To z kolei oznacza, że pokolenia jutrzejsze są w lepszej sytuacji niż dzisiejsze, co w oczywisty sposób zaburza zasadę równości. Jeżeli natomiast będzie się dziś konsumować więcej, celem spłaty tego kredytu jutro, czyli zmusza się tym samym przyszłe pokolenia do oszczędzania, to pogarsza się ich sytuację, gdyż wówczas to oni będą konsumować mniej. Oznacza to, że zasada „maxmin" (czyli by dążyć do jak najlepszej sytuacji jednostek najuboższych) nie może mieć racjonalnego zastosowania w przypadku rozważania międzypokoleniowej równowagi, ponieważ nie ma możliwości uzyskania wyższego poziomu życia w przyszłości bez, choćby minimalnych, wyrzeczeń w chwili obecnej. Autor zauważa jednak, że reguła „maxmin" mogłaby znaleźć zastosowanie, pod warunkiem jednak, że wstępnie występuje wystarczająco duży zasób kapitału, by zagwarantować „godny standard życia" obecnemu pokoleniu, który mógłby być przeniesiony na kolejne pokolenia. W innym razie reguła ta po prostu utrwali biedę. Filozoficznym problemem związanym z tym stwierdzeniem jest jednak to, jakie właściwie przesłanki służyły poprzednim pokoleniom, by taki „wystarczający" zasób kapitału zgromadzić. Uboczną kwestią jest jego zużywanie się w czasie i konieczność ciągłego odnawiania.

W omawianej pracy Solow prezentuje pewien model, którego celem jest, jak można wnioskować z kontekstu, wskazanie, że idea, na mocy której ludzkość decyduje się zatroszczyć o taki poziom inwestycji i konsumpcji, by zapewnić identyczny poziom konsumpcji wszystkim generacjom, nie jest dobra. Człowiek bowiem, poprzez dyskontowanie, jest skłonny odłożyć swoją konsumpcję na rzecz większej konsumpcji w przyszłości.

Solow w omawianej pracy zauważa jednak jeszcze jedną, niezwykle ciekawą rzecz: czas powoduje dyskryminację miedzy pokoleniami. Ponieważ teraźniejszość już jest, a przyszłości jeszcze nie ma, racjonalnie jest dyskontować konsumpcję, a w ten sposób także i różnicować korzyści uzyskiwane przez różne pokolenia w użyteczności teraźniejszej. Racjonalnym powodem tego jest niepewność co do samego istnienia przyszłego pokolenia – może ono w ogóle się nie pojawić. Uwzględnianie zatem jego potrzeb nie może występować z pełnym przełożeniem na potrzeby obecnej, istniejącej gene-

racji. Tym samym można zauważyć, że w tak postawionym problemie stopa dyskonta, oprócz bycia miarą cierpliwości, altruizmu itp., staje się też miarą prawdopodobieństwa, z jakim obecna generacja przyjmuje istnienie przyszłej.

Wkład Roberta Solowa do dyskusji o sprawiedliwości międzypokoleniowej nie kończy się na tym jednym artykule. Dwanaście lat później (1986), kontynuuje rozpoczęte rozważania, stwierdzając na początek, że pytanie ile obecne pokolenie powinno skonsumować zasobów naturalnych, a ile zostawić przyszłym pokoleniom, jest pytaniem źle postawionym. Obecna generacja nie jest bowiem, jego zdaniem, winna jakiekolwiek zasoby przyszłym pokoleniom. Nie ma ona zatem obowiązku pozostawiać jakiś konkretny poziom zasobów ropy naftowej czy minerałów. To, co jednak z pewnością jest winna, to dostęp do pewnego poziomu życia i konsumpcji, conajmniej takiego, jaki był jej udziałem. Odpowiedni poziom konsumpcji może być osiągnięty przez stosowny poziom produkcji, który z kolei zależy od możliwości produkcyjnych. To natomiast, czy możliwości produkcyjne są transmitowane w czasie między pokoleniami dzięki utrzymaniu odpowiedniego poziomu zasobów naturalnych czy też poprzez akumulację i utrzymanie kapitału fizycznego lub technologii, jest kwestią efektywności i wyboru najlepszego rozwiązania. Obecne pokolenie powinno zatem rozważyć w jaki sposób najlepiej transmitować poprzez czas owe możliwości produkcyjne tak, by efekt takich transmisji był najlepszy z możliwych. Optymalność polegać tu może na tym, by przechowane w ten czy inny sposób możliwości produkcyjne mogły być wykorzystane w pełni przez następne pokolenia. Oznacza to, że obecne pokolenie ma wystarczające uprawnienia do tego, by korzystać z istniejących dóbr, jeżeli tylko w zamian za ich optymalne użycie równie optymalnie dokona odpowiednich inwestycji w odpowiednią formę kapitału. Solow uprzedza jednak, że ochrona piękna przyrody jest osobną kwestią. Jest to bowiem dobro, do którego dostęp przyszłym pokoleniom także powinien zostać w odpowiedni sposób zagwarantowany.

W kolejnej pracy, Solow (1992), pisze także, że „zrównoważoność” rozwoju wymaga zakonserwowania „czegoś” w długim okresie. Jest jednak fizycznie niemożliwe zostawić świat taki, jakim go zastaliśmy pod każdym względem, tak samo, jak i nasi przodkowie oddali nam świat w innym stanie niż ten, w jakim otrzymali. Zasoby naturalne są bowiem używane nie dlatego, że są, że obecne pokolenie ma taką fanaberię, ale dlatego, że za ich pomocą tworzy się konkretne dobra i usługi, które są odpowiedzią na równie konkretne potrzeby żyjącej aktualnie ludzkości. Nasze zobowiązanie wobec przyszłych pokoleń nie może polegać zatem na tym, by zostawić jakiś konkretny stan świata, środowiska i innych czynników, ale na tym, by

zostawić przyszłym pokoleniom możliwości życia conajmniej na tak dobrym poziomie, jaki jest i naszym udziałem. Nie bez znaczenia byłoby także pozostawienie im możliwości zrobienia tego samego dla kolejnego pokolenia.

Solow zauważa też, że „zrównoważoność" rozwoju jako idea trudna jest do pogodzenia z dyskontowaniem użyteczności przyszłych pokoleń, ale tylko wtedy, gdy nie ma postępu technicznego. Standard ich życia zależy bowiem od wszystkiego, co mogłoby choćby w najmniejszy sposób ograniczyć możliwości kreacji dobrobytu przez gospodarkę – a zatem nie tylko od nieodnawialnych zasobów naturalnych, ale też od technologii, a nawet ogólnego, istniejącego poziomu wiedzy i umiejętności. Postęp techniczny w naturalny sposób podnosi zasób istniejącej wiedzy i, jeśli tylko jest ona dobrze przechowywana, zwiększa możliwości produkcyjne przyszłych pokoleń. Ścieżka zrównoważonego wzrostu to zatem nie taka, która konserwuje wszystko to, co otrzymujemy w spadku od poprzednich pokoleń, lecz taka, która w odpowiedni sposób odnawia otrzymany i zużyty kapitał. Nie jest jednak istotny rodzaj i forma kapitału, który się zastępuje, lecz jego zdolność do produkowania dóbr i usług, które będą w stanie odpowiedzieć na potrzeby przyszłych pokoleń. Realizacja reguły Hartwicka może się zatem odbyć poprzez modyfikację mierników dobrobytu narodowego z punktu widzenia użytkowania zasobów nieodnawialnych i tworzenia kapitału. W przypadku biednych krajów ich częstym błędem jest konsumpcja przychodów z wydobycia. Wykorzystanie środowiska naturalnego jest szansą, z której aby skorzystać trzeba otrzymane w ten sposób przychody umiejętnie inwestować i uzyskiwać tym samym wyższy dochód w przyszłości. Po osiągnięciu pewnego poziomu dochodu narodowego gospodarki te będą w stanie część dochodu zainwestować w odnowienie środowiska[24].

Dość istotny wkład do omawianej dyskusji mają Constanza, Daly (1992), zwolennicy zrównoważonego wzrostu. Uważają oni, że ważne jest, by definiować „zrównoważoność" nie jako niemalejący poziom użyteczności, będący konsekwencją niemalejącego poziomu konsumpcji, lecz jako utrzymanie w czasie wartości łącznego bogactwa, uwzględniającego poziom kapitału naturalnego. Zauważają oni, że użyteczności nie można przekazać w spadku kolejnym pokoleniom, można jednak przekazać kapitał. Nie jesteśmy przecież odpowiedzialni za szczęście przyszłych pokoleń, ale za to, by zachować dla nich wystarczające ilości kapitału, także kapitału naturalnego, który będą oni mogli wykorzystać w taki sposób, jaki tylko w ich czasach i w ich rozumieniu przyniesie im zadowolenie, o ile oczywiście będą oni w stanie

[24] Można zauważyć, że takie rozważanie pozwala także uzasadnić teoretycznie tzw. środowiskową krzywą Kuznetsa, patrz np. Stern (2004).

mądrze, racjonalnie go używać. Tu także pojawia się wątpliwość związana z dyskontowaniem – może ono dawać zbyt małą wagę przyszłości i prowadzić do pułapki. Autorzy postulują nawet ujemną stopę dyskonta, czyli nadanie użyteczności przyszłych pokoleń wyższą wagę niż obecnym. Spostrzegają też, że funkcjonowanie zrównoważoności w słabej formie wymaga doskonałej wyceny kapitału naturalnego, co może być nieosiągalne wobec trudności aplikacji mechanizmów rynkowych w tym przypadku. Jako wyjście z tej sytuacji postulują oni skierowanie się w stronę zrównoważoności w mocnej formie jako ku rozwiązaniu bezpieczniejszemu.

W literaturze znaleźć można jeszcze wiele prac poświęconych zagadnieniu sprawiedliwości międzypokoleniowej, nie jest ono jednak w centrum zainteresowania autora niniejszej monografii[25]. Mimo to, ominięcie tego tematu czyniłoby rozważania niepełnymi, a czytelnik mógłby odnieść wrażenie omijania problemu, który dość często stanowi oś sporu w dzisiejszych dyskusjach ekologicznych.

1.3. Problem pomiaru bogactwa narodów – zielone NNP

W literaturze ekonomicznej jednym z podstawowych mierników poziomu życia danego społeczeństwa jest PKB *per capita*. Oczywiście znane są liczne prace, w których autorzy podają w wątpliwość racjonalność stosowania tego miernika, który odwzorowuje jedynie poziom produkcji bieżącej w danej gospodarce, nie zaś jej skumulowane bogactwo i poziom życia *sensu stricte*. Znane są też liczne próby konstrukcji rozmaitych wskaźników jakości życia, które odzwierciedlać mają jego rzeczywisty poziom w danych gospodarkach. Tu także zastrzeżenia są dosyć liczne i sprowadzają się głównie do arbitralności wyboru mierników świadczących o poziomie życia[26]. Pomijając jednak także i dyskusję związaną z tym zagadnieniem zauważyć należy, że zdecydowana większość zmiennych makroekonomicznych dobieranych jako części składowe do tak skonstruowanych indeksów jest wysoko skorelowana z poziomem PKB *per capita*. Dobór wag, jaki dokonujemy w przypadku

[25] Czytelnika zainteresowanego tym tematem odsyłamy do prac: Rybicki (2010a, 2010b).

[26] Wybory te z reguły są dokonywane według sposobu myślenia badaczy związanych z cywilizacją i kulturą zachodnią. Zauważyć należy, iż w tej kulturze cenione jest życie długie i dostatnie, co niekoniecznie spotyka się ze zgodą i uznaniem obywateli państw o kulturze odmiennej, np. wschodniej.

rozmaitych wskaźników może oczywiście powodować przesuwanie się w klasyfikacji różnych krajów w tę czy inną stronę.

Pamiętając o wszystkich wadach i wyżej wskazanych niedociągnięciach miernika dobrobytu, jakim jest PKB *per capita*, zauważyć należy powszechność jego stosowania. W niniejszej pracy także będziemy traktować ten miernik jako reprezentację poziomu życia danych gospodarek, a tempo jego zmian w czasie – jako tempo wzrostu gospodarczego. Wybór ten przynosi oczywiste konsekwencje – krajem bogatym jest zatem kraj, który posiada w ciągu pewnego okresu PKB *per capita* niezmiennie na wysokim (względem grupy wszystkich krajów) poziomie, a krajem biednym ten, w którym poziom tego wskaźnika jest niewysoki[27]. Zmiana w czasie tego wskaźnika, liczona tempem zmian, a nazywana tempem wzrostu gospodarczego lub czasem (nieprecyzyjnie) wzrostem gospodarczym, wskazuje przybliżone tempo rozwoju gospodarczego danej gospodarki.

Niezależnie od rozważań co to znaczy być biednym lub bogatym[28], teoria wzrostu gospodarczego, zarówno w ujęciu czysto teoretycznym, jak i empirycznym, wskazuje listę czynników, które mają prawdopodobny wpływ na poziom rozwoju gospodarczego gospodarek oraz na ich tempo wzrostu. Liczne są badania wskazujące kolejne prawdopodobne czynniki wpływające na tempo wzrostu gospodarczego, jedną z przykładowych list zawiera praca Durlaufa, Johnsona i Temple'a (2004).

Nieodległą od dyskusji na temat sprawiedliwości międzypokoleniowej dysputę zaobserwować można na temat zagadnienia pomiaru dochodu narodowego w taki sposób, by uwzględnić istniejące zasoby naturalne oraz jakość środowiska naturalnego. Trudno bowiem twierdzić, że PKB *per capita* jest dobrą miarą bogactwa narodu, jeśli dodatkowa jego jednostka wyprodukowana została przy wydobyciu pewnej ilości złoża zasobu naturalnego, a zatem poprzez uszczuplenie występującej wielkości kapitału naturalnego. Idealny miernik dochodu narodowego powinien uwzględniać ten fakt, jak też powinien brać pod uwagę obniżającą się jakość środowiska naturalnego.

Weitzmann (1976) pokazuje za pomocą dość prostych obliczeń, że NNP (*net national product*) to miernik, który jest całkiem niezłą aproksymantą zdyskontowanej przyszłej konsumpcji, nawet wtedy, gdy zakwalifikuje się jako kapitał zasoby naturalne i wiedzę. Autor prezentuje prosty i dość oczy-

[27] I znów używamy tu niejednoznacznie zdefiniowanych pojęć „wysoki" i „niski". Konkretne definiowanie tego nie jest jednak w niniejszej pracy potrzebne.

[28] Rozważania takie, oczywiście, są niezwykle istotne w teorii wzrostu gospodarczego, nie są jednak przedmiotem szczególnego zainteresowania w niniejszej pracy. Autor jednakże nie zamierza w tym względzie od istniejącej teorii, będącej wynikiem pewnego konsensusu, uciekać i tworzyć własnych definicji.

wisty model optymalizacyjny, dla którego NNP, wyrażony w standardowy sposób, jako suma konsumpcji oraz zmiany kapitału, okazuje się być hamiltonianem. Płynie stąd wniosek, że NNP w dość dobry sposób odzwierciedla bogactwo danej gospodarki, stanowi bowiem pewną miarę zdyskontowanych przyszłych dochodów. Niestety, wnioski te wyprowadzone są przy kilku dość silnych założeniach – konieczna jest gospodarka zamknięta ze stałymi stopami procentowymi oraz bez egzogenicznego postępu technicznego. Co więcej, konieczna jest znajomość cen wszystkich form kapitału, łącznie z zasobami naturalnymi i wiedzą. Naruszenie któregoś z tych dość nierealistycznych założeń powoduje, że NNP traci swój charakter i dobrą interpretację.

Próbując odpowiedzieć na powyższe problemy, w kilku kolejnych pracach, w tym Hartwicka (1990) oraz Mälera (1991), sugerowany jest miernik, który określany jest jako zielony NNP (*Green NNP*). Będąc miarą bogactwa narodowego, uwzględnia on jednocześnie endogeniczny postęp techniczny oraz wyczerpywanie się zasobów naturalnych. Jednak nawet ta propozycja okazuje się nie być pozbawiona wad, które wskazane są m.in. w pracy Asheima (1994). Asheim (1997) podsumowuje w swojej pracy dotychczasowe badania dotyczące Zielonego NNP, proponując kolejny miernik, który mógłby być traktowany jako miara zrównoważonego dochodu. Na przykładzie liczbowym pokazuje, że Zielony NNP jest niedoszacowany dla krajów bogatych w zasoby i przeszacowany dla krajów ubogich w zasoby. Propozycję pomiaru takiego dochodu zawiera też praca Bartelmusa, Stahmera i Tongerena (1991). Ich miernik bierze pod uwagę zasoby naturalne i jakość środowiska naturalnego.

Także i w tej dyskusji głos zabrał Solow (1992). Potwierdza on istniejące spostrzeżenia, że konwencjonalne wskaźniki dobrobytu (PKB *per capita*, ale też i inne) nie uwzględniają szeroko rozumianej amortyzacji, a te, które uwzględniają amortyzację różnych form kapitału, nie uwzględniają „amortyzacji środowiska", czyli degradacji środowiska naturalnego oraz wyczerpywania złóż. Zasoby naturalne to nie jest bowiem jakaś ich ilość składowana w magazynie, ale złoża leżące w ziemi, będące różnej jakości, różnej dostępności, o różnym koszcie ich wydobycia. W zdecydowanej większości przypadków produkcja nie może być podjęta bez zasobów naturalnych, ale z reguły występuje chociaż częściowa substytucja pomiędzy zasobami naturalnymi a innymi formami kapitału, choć staje się ona coraz bardziej kosztowna. Solow proponuje, by po prostu odejmować wykorzystanie netto zasobów naturalnych od PKB – miernik taki byłby strumieniem netto produkcji (po odjęciu zużytego kapitału, w tym przypadku naturalnego). W tym miejscu stajemy jednak przed dość poważnym problemem – by takiego odejmowania dokonać, należałoby najpierw znać ceny poszczególnych zasobów. Tych cen

jednak nie jesteśmy w stanie obserwować. Solow sugeruje też, by traktować stan środowiska jako kapitał, w który inwestuje się oczyszczając je, i który się deprecjonuje poprzez emitowanie zanieczyszczeń. Jego zdaniem, konieczne jest posiadanie miernika, który wskazywać będzie najwyższy możliwy poziom konsumpcji, który dzisiejsza generacja może podjąć, by nie zagrozić obniżeniem konsumpcji przyszłych pokoleń. Taka miara mogłaby dobrze odwzorowywać bogactwo narodu.

Constanza i Daly (1992) prezentują w swojej pracy obliczenia oparte na indeksie stworzonym przez Daly'ego i Cobba (1989), wskazującym całkowity poziom bogactwa, łącznie z uwzględnieniem zużycia zasobów naturalnych i degradacją środowiska. Z prostego porównania tegoż indeksu z innymi miernikami wynika, że w latach 1945–1990 PKB *per capita* bezustannie rosło, ale indeks łącznego bogactwa utrzymywał się na stałym poziomie. Wniosek stąd płynie, że wzrost PKB *per capita*, spowodowany wzrostem konsumpcji, odbył się głównie kosztem złóż zasobów naturalnych i degradacji środowiska. Autorzy w swojej pracy odróżniają „wzrost" (zwiększenie ilości wykorzystywanych materiałów i przez to wzrost produkcji) od „rozwoju" (zmiany strukturalne i poprawa jakości zarządzania dobrami, prowadzące do zwiększenia efektywności wykorzystania materiałów i przez to także wzrost produkcji). Zauważyć można, że „wzrost", z samej swojej definicji, nie może być „zrównoważony", wymaga bowiem coraz większego nakładu kapitału naturalnego. Postulowane jest zatem skoncentrowanie się na „rozwoju", jako metodzie uzyskania wzrostu produkcji, która zachowuje środowisko naturalne. Należy jednak zauważyć, że wzrost efektywności wykorzystania czynników produkcji może być równoważny ze wzrostem TFP (czyli uzyskaniem tego samego produktu przy niższych nakładach czynników produkcji). Dostrzeżony jest jednak przez autorów problem – istniejące mierniki nie mierzą „rozwoju", lecz co najwyżej „wzrost", a jeżeli nawet próbują mierzyć coś więcej, to najczęściej mylą „wzrost" z „rozwojem".

W wielu innych pracach rozważano wspomniane zagadnienie[29], nie stanowi ono jednak głównego obiektu zainteresowania w niniejszej pracy. Zauważyć jednak należy, iż istnieje w literaturze ogólna zgoda co do tego, że:

1. Obecnie istniejące mierniki nie stanowią dobrego odzwierciedlenia stopnia bogactwa narodu.

2. Szczególna wada tych mierników to brak uwzględniania zasobów naturalnych oraz stanu środowiska naturalnego i płynących z niego korzyści (np. dla zdrowia żyjącej w nim ludności).

[29] Wystarczy wspomnieć artykuły: Pearce, Atkinson (1993), Sefton, Weale (1996), Sefton, Weale (2005), Vincent et al. (1997).

3. Idealny miernik dochodu powinien obrazować dochód jako poziom konsumpcji, która może być osiągnięta w obecnym okresie tak, by zapewnić niemniejszą konsumpcję w następnym okresie.

4. Wydobycie zasobów naturalnych powinno być w nim uwzględniane jako deprecjacja pewnej formy kapitału naturalnego.

Zagadnienie to godne jest poświęcenia mu osobnej monografii, co do tej pory w polskiej ekonomii zasobów naturalnych nie nastąpiło.

1.4. Ceny zasobów naturalnych

Istotne jest uzyskanie odpowiedzi na pytanie, w jaki sposób zmieniają się ceny zasobów naturalnych. Wraz z wyczerpywaniem się złóż danego zasobu jego cena powinna bowiem rosnąć, wszelkie jednak przejawy postępu technicznego, związanego czy to z obniżeniem kosztów wydobycia, czy to ze zmniejszeniem stopnia wykorzystania zasobów w procesach produkcyjnych, powodować powinny obniżanie się ceny. Te dwa efekty działają jednocześnie w różne strony, trudno jest zatem jednoznacznie określić jak cena powinna się zmieniać. Mając informację o długookresowym trendzie, znajdującym się w danym szeregu cen, można tylko domniemywać o tempie wyczerpywania się danego zasobu w stosunku do tempa postępu technicznego.

Pierwszym, który próbował udzielić odpowiedzi na pytanie w jaki sposób powinny zmieniać się ceny nieodnawialnych zasobów naturalnych był Hotelling (1931). W swojej pracy zasugerował, iż tempo zmian ceny danego zasobu powinno być równe stopie procentowej. Rozumowanie, które kryje się za tym wynikiem, jest następujące. Posiadacz danego złoża zasobu naturalnego ma dwa wyjścia – albo dokona wydobycia danego zasobu, sprzeda go, a uzyskana w ten sposób renta gruntowa przyniesie mu zysk w wysokości stopy procentowej, albo też poczeka na zmianę ceny, spowodowaną wyczerpywaniem się danego zasobu, i wówczas dokona wydobycia i sprzedaży. Rozwiązania te są wykorzystywane przez posiadaczy złóż w taki sposób, że dochodzi do zrównania się zysków z nich płynących.

Propozycja teoretyczna Hotellinga spotkała się z uznaniem ekonomistów. Problematyczne jednak stało się wykazanie, że dane empiryczne związane z zasobami naturalnymi wykazują proponowaną przez niego zależność. W literaturze znaleźć można serię prac, których autorzy nie odnaleźli w danych empirycznych śladu równości pomiędzy tempem zmian ceny danego zasobu a stopą procentową[30]. Dopiero w ostatnich latach udało się uzyskać

[30] Przegląd licznych prac empirycznych, których autorzy nie byli w stanie potwierdzić zależności proponowanej przez Hotellinga, znaleźć można w artykule: Livernois, Thille,

empirycznie tę zależność (Livernois, Thille, Zhang 2006). Autorzy zauważają jednak istotne niedociągnięcie popełniane przez poprzednich badaczy. Twierdzą, że wysokość renty gruntowej nie jest w sposób jawny obserwowalna i krytykują dotychczasowe badania, które były oparte na dwustopniowym postępowaniu, gdzie w pierwszym kroku dokonywano szacowania wysokości tej renty, głównie na podstawie szeregów czasowych cen, a następnie dopiero badana była zależność á la Hotelling. Nowatorskość omawianej pracy polega na tym, że autorzy próbują wykorzystać rzeczywiste szeregi renty gruntowej, które, ich zdaniem, można uzyskać w niewielu przypadkach. Korzystają zatem z danych związanych ze sprzedażą praw do wycinki drzew z regionu Pacific Northwest w Stanach Zjednoczonych. Drzewa tam się znajdujące są kilkusetletnie, zatem można je traktować, zdaniem autorów, jako nieodnawialny zasób naturalny.

Artykuł zawiera wyprowadzony ciekawy model optymalnej wycinki drzew, z którego wynika zmodyfikowana reguła Hotellinga, poprawiona o czynniki związane z odnawianiem się lasu, czyli kosztem utrzymania starego lasu, oraz ze zmieniającym się w czasie kosztem wycinki. Tak zmodyfikowaną, ale teoretycznie wiarygodną regułę Hotellinga, udaje się empirycznie potwierdzić. Z pracy tej wynika wniosek, że propozycja Hotellinga może być zbyt trudna do empirycznej weryfikacji, ale z pewnością nie jest wyłącznie tworem oderwanym od rzeczywistości. Jest ona zresztą dość naturalną konsekwencją podstawowych założeń długookresowych modeli wzrostu gospodarczego, uwzględniających zasoby naturalne.

Jeżeli jednak nie jesteśmy w stanie w sposób bezpośredni odnieść reguły Hotellinga do zmian cen zasobów naturalnych, to otwarte pozostaje pytanie o kształtowanie się tych cen w czasie. Jedną z istotniejszych i częściej cytowanych prac związanych z tym tematem jest artykuł Slade (1982). Autorka zauważa, że oczywistym objawem wyczerpywania się nieodnawialnych zasobów byłoby podniesienie się ich ceny. Tymczasem dotychczasowe badania empiryczne pokazują, że w większości szeregów realnych cen zaobserwować można raczej spadek cen lub ich wahania około pewnej średniej. Slade konstruuje teoretyczny model zmiany ceny zasobów z uwzględnieniem postępu technicznego, którego konsekwencją jest tutaj spadek kosztów wydobycia.

Główny wniosek jaki płynie z przedstawionego modelu jest taki, że jeśli postęp techniczny powoduje spadek kosztów wydobycia, ale też zmiana tego spadku jest coraz mniejsza (dzieje się tak wtedy, gdy proces badawczo-rozwojowy ma malejące przychody krańcowe), to ceny zmieniają się zgodnie z kształtem litery U – w pierwotnej fazie postęp techniczny o wysokiej krań-

Zhang (2006).

cowej efektywności powoduje obniżenie się kosztów wydobycia o większą wartość niż przyrost ceny zasobu spowodowany jego ciągłym wydobyciem. Bilans netto tych dwóch efektów prowadzi do zmniejszania się cen zasobu w czasie. Wraz jednak z rozwojem technologii i zmniejszaniem się krańcowego przychodu płynącego z badań i rozwoju oraz z dalszym zmniejszaniem się złóż zasobów naturalnych, co naturalnie zwiększa ich cenę, łączny wpływ tych dwóch czynników staje się dodatni i cena rośnie. Przeprowadzone także w tej pracy badania empiryczne polegające na dopasowaniu trendu kwadratowego do cen zasobów naturalnych obserwowanych w latach 1870–1978 prowadzą, w przypadku większości zasobów naturalnych, do wniosku o zgodności zmian cen z proponowaną teorią. Trzeba jednak przyznać, że badania te, prowadzone na początku lat osiemdziesiątych, nie uwzględniały znacznych postępów, jakie poczyniła teoria ekonometrii w analizie szeregów czasowych związanych z badaniem stacjonarności i stopnia zintegrowania zmiennych. W kolejnych pracach, bardziej już zaawansowanych ekonometrycznie, artykuł Slade (1982) brany był za punkt wyjścia, ale uwzględniano analizę stacjonarności zmiennych.

Praca Bercka i Robertsa (1996), także należąca do kanonu często cytowanych prac z tego zakresu, stanowi próbę przetestowania dalszych zmian cen zasobów naturalnych. Artykuł zawiera prosty model teoretyczny, z którego wynika, podobnie jak u Slade (1982), że ceny zasobów naturalnych, pomimo ich ciągłego wyczerpywania się, mogą maleć, jeśli tylko dokonane zostaną odkrycia nowych złóż, prowadzony będzie efektywny recykling lub występuje wystarczający postęp techniczny. Dane wskazują jednak na długookresowe utrzymywanie się cen mniej więcej na tym samym poziomie, co autorzy także tłumaczą faktem występowania wystarczająco dużych złóż zasobów, aby uznawać obecne ich wydobycia za ilościowo nieznaczące. Ceny bowiem niosą w sobie niezwykle dużo informacji, a ta, związana z rzadkością dobra, jest jedną z nich.

W omawianym artykule są także rozważania empiryczne. Autorzy argumentują, że ceny nieodnawialnych zasobów naturalnych powinny być przyrostostacjonarne, a zatem zintegrowane w stopniu pierwszym, miast trendostacjonarne[31]. Cena złoża to bowiem suma renty gruntowej oraz kosztu krańcowego. Renta gruntowa jednak, jako wartość pewnego aktywa, nie może być trendostacjonarna, inaczej predykcja tej wartości byłaby zbyt prosta.

[31] W języku polskim jest kilka znakomitych publikacji związanych z analizą szeregów czasowych i badaniem niestacjonarności zmiennych, np. Milo (1990), Welfe (2003), Majsterek (2008). Podstawowa literatura anglojęzyczna dotycząca tego tematu zawiera np. takie pozycje, jak: Enders (2008), Lutkepohl (2005).

Większość cen natomiast jest zintegrowana w stopniu pierwszym[32], a zatem koszt krańcowy także. Stąd płynie wniosek, że suma tych dwóch wielkości musi być przyrostostacjonarna. Analiza ekonometryczna prowadzi do potwierdzenia tych wniosków i do ogólnej konkluzji, że prawdopodobieństwo, iż ceny zasobów naturalnych będą rosły wynosi mniej więcej tyle samo, ile prawdopodobieństwo, że będą malały. Autorzy pokazują także konsekwencje wykorzystania w prognozowaniu cen zasobów modeli trendostacjonarnych, powołując się tu ponownie na pracę Slade (1982) oraz płynące z niej konsekwencje. Okazuje się zatem, że najlepszą prognozą cen zasobów naturalnych na najbliższy czas jest wskazanie, że będą kształtowały się na identycznym poziomie, co dzisiaj. Osobne pytanie, które autorzy stawiają, brzmi, czy nie występują zmiany strukturalne w badanym zjawisku. Nie zagłębiają się jednak silniej w analizę tego zagadnienia.

Ahrens i Sharma (1997) nie pozwalają na utrzymanie pewności wyniku pracy Bercka i Robertsa (1996). Autorzy potwierdzają oczywisty fakt występowania trendu w danych, pytają jednak czy jest to trend stochastyczny czy deterministyczny. Przechodzą następnie do testowania stacjonarności szeregów cen wykorzystując te same zmienne co Slade (1982), ale poszerzone szeregi danych. Testy wskazują, że część szeregów cen jest trendostacjonarna, a część przyrostostacjonarna. Stwierdzają zatem, że nie może istnieć żadna ogólna teoria zmiany cen tych zasobów, albowiem każda z tych cen zachowuje się przynajmniej odrobinę inaczej i wymaga osobnego traktowania. Z pewnością każdy zasób ma swoją specyfikę, którą należy w procesie modelowania uszanować. Autorzy dodają także sugestię, by dla każdego szeregu cen szacować raczej model korekty błędem i dopiero wtedy wnioskować o występowaniu trendu w cenie, co w zasadzie stawia pod znakiem zapytania wyniki z pracy Slade (1982).

Sharma, Balcombe i Fraser (2009) analizują realne ceny 9 wybranych nieodnawialnych zasobów naturalnych. Powołują się przy tym na pracę Lee, Lista i Strazicicha (2006), w której autorzy dokonali analizy tych szeregów i pokazali, że w zasadzie wszystkie tego typu szeregi cen są stacjonarne naokoło trendu, w którym wystepują dwie zmiany strukturalne. Sharma, Balcombe i Fraser (2009) uzyskują podobny wynik, wszystkie testowane przez nich szeregi cen zasobów, z wyjątkiem srebra, są stacjonarne naokoło

[32] Nie jest to stanowisko niebudzące sprzeciwu, znane są prace dowodzące, że ceny są zintegrowane w stopniu drugim, a ich zmiana, czyli np. inflacja, zintegrowana w stopniu pierwszym, por. np. Majsterek (2008). Ciekawym argumentem empirycznym może też być praca: Wang, Tomek (2007), gdzie autorzy testują ceny podstawowych dóbr konsumpcyjnych (np. mleka) na obecność pierwiastków jednostkowych. Wyniki tego testu pokazują, że brak jest jakichś szczególnych przesłanek do twierdzenia, że szeregi te są niestacjonarne.

trendów z wielokrotnymi załamaniami strukturalnymi, w przypadku każdego zasobu zarówno ilość, jak i umiejscowienie zmian różnią się. Wyniki te sugerują wielokrotne epizodyczne zmiany średniej wielkości poziomu cen spowodowane egzogenicznymi szokami. Brakuje zatem ciągłości zmian cen, która powinna przecież mieć miejsce w przypadku wpływania na ceny ciągłego procesu wydobycia oraz ciągłych procesów innowacji technologicznych.

1.5. Podsumowanie

Celem niniejszego rozdziału był przegląd kilku podstawowych nurtów związanych z problematyką nieodnawialnych i odnawialnych zasobów naturalnych oraz zagadnieniami relacji pomiędzy ich wydobyciem a wzrostem gospodarczym. Oczywiście przegląd ten nie jest pełny, niniejsza monografia nie ma jednak takiego celu, czytelnik po przejrzeniu niniejszego rozdziału uzyskuje jedynie pewne pojęcie na temat najważniejszych debat toczących się wokół ekonomiki zasobów naturalnych. Rozdział ten ma charakter wprowadzający do problematyki gospodarowania długookresowego zasobami naturalnymi i roli, jaką one odgrywają w długookresowym wzroście gospodarczym. W kolejnych częściach niniejszej monografii skoncentrujemy się na zagadnieniach wyczerpywalności zasobów naturalnych oraz roli, jaką w tym problemie odgrywa postęp techniczny.

Rozdział 2

Postęp techniczny a zużycie zasobów naturalnych

2.1. Rola postępu technicznego w relacji między zasobami naturalnymi a wzrostem gospodarczym

Problem wyczerpywania się zasobów naturalnych był szczególnie mocno eksponowany w latach siedemdziesiątych, tuż po słynnym raporcie Klubu Rzymskiego *Granice wzrostu* (Meadows et. al, 1973). Raport ten zawierał dość prosty model gospodarki światowej. Przy utrzymaniu istniejących trendów ekonomicznych i naturalnej ekstrapolacji ścieżek produkcji, konsumpcji i wydobycia zasobów naturalnych model ten przewidywał rychłe wyczerpanie się złóż. To oczywiście pociągało za sobą dramatyczne zmniejszenie wielkości produkcji. Raport ten odbił się szerokim echem w świecie, lecz został dość mocno skrytykowany przez ekonomistów za niedostatki metodologiczne. W 1973 roku odbyło się Sympozjum Ekonomii Wyczerpywalnych Zasobów Naturalnych, na którym głos zabrało wielu znanych ekonomistów tamtych czasów. Czasopismo „Review of Economic Studies" poświęciło w 1974 roku łamy jednego z numerów wyłącznie na artykuły z tej konferencji. Kilka z nich zawiera treści warte omówienia w kontekście obszaru zainteresowań autora niniejszej pracy.

Dasgupta i Heal (1974) stwierdzają dość oczywisty fakt, że wyczerpywalność jakichkolwiek złóż zasobów naturalnych stanowi problem w procesach gospodarczych jedynie wtedy, gdy ów rodzaj zasobów jest niezbędny dla produkcji. Niezbędność rozumiana jest tutaj jako brak możliwości produkcji

danego dobra bądź usługi w przypadku, gdy w proces produkcji nie zostanie zaangażowana odpowiednia ilość danego zasobu – produkcja nie jest wówczas po prostu możliwa. W takim przypadku, wobec zagrożenia zerową produkcją w przypadku wyczerpania się wszystkich złóż zasobów naturalnych, a więc także zerową konsumpcją bądź konsumowaniem kapitału fizycznego, istotna staje się możliwość substytucji w procesie produkcyjnym pomiędzy zasobami naturalnymi a innymi, odnawialnymi czynnikami produkcji. Jeśli taka możliwość istnieje, to zużywanie się zasobów naturalnych nie stanowi problemu lub stanowi mniejszy niż pierwotnie zakładano.

Autorzy uzupełniają swoje rozważania poprzez oczywiste spostrzeżenie, że zmniejszenie się podaży zasobów naturalnych, przy niemalejącym popycie, spowoduje wzrost ich ceny rynkowej. To z kolei przełoży się na wzrost kosztów produkcji poszczególnych dóbr wymagających danego zasobu, co doprowadzi do wzrostu cen każdego z tych dóbr. Sytuacja rynkowa zachęci wówczas producentów do poszukiwania tańszych substytutów dla drożejących zasobów naturalnych celem obniżenia kosztów produkcji oraz ceny, co spowodowałoby wzrost konkurencyjności ich wyrobów. Owe tańsze substytuty odnaleźć można jedynie angażując sektor badawczo-rozwojowy, którego aktywność przekłada się na postęp techniczny.

Problemem jednak jest przewidzenie formy i czasu pojawienia się przyszłej technologii, co stanowi źródło niepewności w planowaniu gospodarczym. Konieczne jest zatem nie tylko optymalne planowanie wydobycia zasobów, ale też optymalny ich rozdział pomiędzy zwykłą produkcję dóbr i usług konsumpcyjnych a działalność badawczo-rozwojową, która również wymaga wykorzystania części dostępnych środków, w tym także zasobów naturalnych. Autorzy skłaniają się ku twierdzeniu, że możliwe jest przynajmniej częściowe zastąpienie nieodnawialnych zasobów naturalnych przez rozmaite formy kapitału fizycznego w procesie produkcyjnym. Ich propozycja teoretyczna polega na uwzględnieniu takiej formy postępu technicznego, która pozwoli zmniejszyć wykorzystanie zasobów naturalnych w procesie produkcyjnym. Mowa tu głównie o wynalezieniu tańszego w produkcji odnawialnego substytutu. W sytuacji skrajnej, mało prawdopodobnej, ale jednak możliwej, postęp techniczny umożliwi w przyszłości zupełne wyeliminowanie zasobów naturalnych z procesu produkcyjnego.

W tym samym numerze „Review of Economic Studies” laureat Nagrody Nobla Stiglitz (1974) wskazuje, że rozwój technologii może na trzy różne sposoby pomóc w rozwiązaniu problemu niedostatku zasobów naturalnych. Po pierwsze, zwyczajny postęp techniczny, obrazujący się w zwiększeniu TFP, pozwoli na wzrost wielkości produkcji, przy pozostawieniu nakładów czynników produkcji na dotychczasowym poziomie. Oznacza to także, że możliwe

jest utrzymanie obecnego poziomu produkcji przy obniżeniu wysokości tych nakładów, w tym także przy mniejszym zużyciu zasobów naturalnych. Po drugie, nowo powstała, nieznana jeszcze dzisiaj technologia umożliwić może substytucję czynników produkcji w większym stopniu niż obecnie. Po trzecie, użytkowanie kapitału ludzkiego, jako kolejnego czynnika produkcji, umożliwia wykorzystanie rosnących korzyści skali. To, przy zwiększeniu nakładów czynników produkcji, prowadziłoby do ponadwymiarowego wzrostu produkcji, co pozwoliłoby tym samym zwiększyć efektywność wykorzystania wyczerpywalnych zasobów. Stiglitz prowadzi swoją analizę przy użyciu dość prostego modelu, z którego płynie wniosek, iż tempo postępu technicznego zmniejszającego poziom zużycia zasobów naturalnych w produkcji musi być większe niż stopa wzrostu ludności. Autor zauważa też, że gdy udział kapitału fizycznego w procesie produkcyjnym jest większy niż udział zasobów naturalnych, to dalsza jego akumulacja może umożliwić zmniejszenie zużycia złóż przez zwykłą substytucję, nawet bez nadzwyczajnego postępu technicznego.

Inny noblista, Solow (1974), także, podobnie jak i poprzedni autorzy, zauważa, że wyczerpujące się zasoby naturalne można zastąpić przez zwiększenie wielkości odnawialnego kapitału. Konieczne jest jednak oczywiście istnienie możliwości substytucyjnych, im doskonalsze one będą, tym w większym stopniu te dwa czynniki mogą być wykorzystywane zamiennie w procesie produkcyjnym. Prowadzi to bezpośrednio do wniosku, że zasoby naturalne mogą być eliminowane z procesu produkcyjnego przez kapitał fizyczny. W swojej pracy Solow podaje prawdopodobne oszacowanie: elastyczność produkcji względem kapitału jest, jego zdaniem, około trzy razy wyższa niż elastyczność produkcji względem wielkości zasobów naturalnych. Solow stwierdza także, że idea nieograniczonego postępu technicznego, mimo że nie jest całkowicie absurdalna, to jest raczej mało prawdopodobna. Sugeruje zatem tym samym, iż całkowite wyeliminowanie zasobów naturalnych z procesu produkcyjnego może nie być w ogóle możliwe.

Po wspomnianym sympozjum nastąpił w literaturze dalszy napływ prac związanych tematycznie z zagadnieniem wyczerpywalnych zasobów naturalnych. Autorzy jednej z pierwszych książek opisujących ów problem, Dasgupta i Heal (1979), powtarzają, że jest słuszne dbanie o to, by upadek cywilizacji spowodowany wyczerpaniem się złóż nie stał się naszym udziałem. Dość łatwo zauważają jednak, że sympatia dla tych haseł mija szczególnie szybko, gdy okazuje się, że rozwiązaniami dla tego problemu jest zmniejszenie wielkości produkcji (a przez to też konsumpcji) oraz zniechęcanie rozwijających

się krajów do industrializacji[1]. Piszą też, że podnoszące się ceny zasobów wywołają silne sygnały zachęcające do poszukiwania tańszych substytutów. Oczywiście występuje tu niepewność związana np. z tym, czy w ogóle takie substytuty da się znaleźć.

W kolejnej pracy Dasgupta (1993) zauważa, iż w zasadzie produkcja wszystkich dóbr i usług wymaga pewnych, choćby najdrobniejszych, składników pochodzących z natury – jeżeli nie jako materiał, to jako źródło energii. Uważa także, że podział pomiędzy zasobami odnawialnymi i nieodnawialnymi jest raczej ostry – zasoby nieodnawialne kurczą się, co wynika bezpośrednio z drugiego prawa termodynamiki, które implikuje, że nigdy nie jest możliwe odzyskanie 100% materiału w procesie recyklingu. Autor wskazuje także historyczne przykłady substytucji pomiędzy różnymi rodzajami zasobów naturalnych.

Dasgupta zauważa również, że popyt na zasoby naturalne nie wynika *stricte* z zapotrzebowania na nie, albowiem same w sobie nie zaspokajają one potrzeb, ale z zapotrzebowania na produkty, które są tworzone przy ich udziale. Nie jest zatem pożądany konkretny materiał, ale własności, jakie on posiada. Spostrzeżenie to pozwala także dodać, że w momencie, w którym uzyskane zostaną potrzebne własności przez jakikolwiek inny, odnawialny materiał, złoża zasobów nieodnawialnych, dotychczas wykorzystywane, przestaną być kluczowe dla produkcji[2]. Dla przykładu – powszechna produkcja metalowych kubków została ograniczona, gdyż szkło okazało się być tańsze w produkcji i lepsze ze względu na posiadane własności.

Autor wymienia 9 mechanizmów, które implikują substytucję pomiędzy czynnikami produkcji:

1. Powstanie innowacji umożliwiających, by dany zasób mógł być w ogóle wykorzystywany w konkretny sposób.

2. Odkrycia nowych materiałów.

3. Rozwój technologiczny, który powoduje obniżenie kosztów procesu wydobywczego.

4. Powstanie innowacji, które obniżają koszty odkrywania nowych złóż.

5. Powstanie technologii, która zwiększa efektywność użytkowania istniejących materiałów.

[1] Rozwiązanie to wynika z faktu, że kraje rozwijające się, będące na etapie industrializacji, zużywają relatywnie najwięcej nieodnawialnych zasobów naturalnych oraz emitują najwięcej zanieczyszczeń.

[2] Bezpośrednią konsekwencją tego faktu jest to, że automatycznie spadnie ich wartość.

6. Pojawienie się możliwości efektywnego wykorzystania tych złóż zasobów naturalnych, które zawierają materiał niższej jakości, np. złoża bardziej zanieczyszczone.

7. Recykling.

8. Konieczność wykorzystania złóż niższej jakości z powodu wyczerpywania się złóż wyższej jakości.

9. Substytucja zasobów naturalnych z kapitałem fizycznym.

Spośród wymienionych mechanizmów, tylko ostatnie dwa nie wymagają powstania nowych technologii *sensu stricto*, lecz odpowiedniego wykorzystania istniejących. Do działalności naukowo-badawczej, której celem mógłby być któryś z siedmiu pierwszych mechanizmów, potrzebna jest jednak zachęta w postaci np. wysokich kosztów wydobycia czystej postaci złoża.

Substytucyjność kapitału fizycznego (bądź ludzkiego) z zasobami naturalnymi Constanza i Daly (1992) uważają za dość problematyczną koncepcję. Zauważają, że gdyby kapitał fizyczny był doskonałym substytutem do naturalnego, to nigdy by nie powstał – po co bowiem zamieniać jedną formę kapitału na inną, doskonale do niej substytucyjną, jeśli przy okazji konieczny jest pewien nakład pracy. Wydaje się, że byłoby to działanie nieefektywne ekonomicznie. Płynie stąd wniosek, że kapitał fizyczny powstał jako komplementarny do kapitału naturalnego, tak jak sieć powstała jako komplementarne dobro kapitałowe do jeziora i ławicy ryb. Bez istnienia jezior i ryb istnienie sieci nie miałoby sensu, jej rolą jest umożliwienie ludziom o ograniczonych zasobach sił pracy wykorzystanie większej ilości kapitału naturalnego w produkcji, a nie zaś ograniczanie jego zużycia – sieć nie zastąpi złowionych ryb. Autorzy zgadzają się z istnieniem innych form substytucji – kapitału fizycznego i ludzkiego, czy też różnych form kapitału naturalnego między sobą – ale są przekonani, że substytucyjność kapitału fizycznego i naturalnego jest niska i bardzo ograniczona do jedynie szczególnych przypadków. Zauważają też, że kreacja kapitału fizycznego wymaga jego domniemanego substytutu – składników pochodzących z kapitału naturalnego. Jest także jasne, że ograniczanie zużycia kapitału naturalnego jest możliwe poprzez jego efektywniejsze wykorzystanie, zmniejszenie marnotrawstwa, recykling itp.

Praca Constanzy i Daly'ego (1992) zawiera też dość wyraźnie sformułowane wskazania dla polityki gospodarczej. Autorzy opowiadają się za zrównoważonym wzrostem i utrzymaniem pewnego poziomu kapitału naturalnego dla przyszłych pokoleń. Zauważają jednak konflikt pomiędzy (zgodnie

z ich nazwą) technologicznymi optymistami i pesymistami. Technologiczni optymiści to, ich zdaniem, ekonomiści, którzy twierdzą, iż postęp techniczny stymulowany przyrostem cen doprowadzi do rozwiązania problemu wyczerpujących się zasobów naturalnych, pesymiści natomiast są sceptycznie nastawieni do tej koncepcji. Constanza i Daly proponują proste rozwiązanie – nałożenie wysokich podatków na szeroko rozumianą konsumpcję kapitału naturalnego. Jeśli bowiem technologiczni optymiści mają rację, to podniesienie kosztów wykorzystania zasobów naturalnych wyzwoli to, w co oni tak bardzo wierzą, mianowicie ludzką kreatywność i postęp technologiczny, który pozwoli rozwiązać problem. Jeśli natomiast rację mają pesymiści, to podniesienie kosztów wykorzystania kapitału naturalnego spowoduje zachowanie wystarczających jego ilości dla przyszłych pokoleń, aby te miały dostatecznie duże złoża, które posłużyć mogą osiągnięciu maksimum ich użyteczności.

Berck i Roberts (1996) zauważają, że komplementarność pewnych zasobów naturalnych może na nich wymuszać ograniczanie wydobycia wobec zagrożenia utraty przez nie wartości. Jeśli, np., społeczeństwu zależy na utrzymaniu pewnej ilości czystego powietrza, to wydobycie węgla jest przez tę wolę ograniczane, albowiem wydobycie go w zbyt dużej ilości prowadzi w prostej linii do generowania zbyt wysokich zanieczyszczeń. Jeśli teraz dopuszczalny poziom zanieczyszczonego powietrza zostanie przekroczony, to zasoby węgla będą miały zerową wartość, gdyż nie można ich wykorzystywać. Postępowanie takie nie może być zatem optymalne.

Cleveland i Ruth (1997) piszą, że kapitał fizyczny i naturalny są do pewnego stopnia jednocześnie komplementarne i substytucyjne. Ci, którzy zakładają, że konieczny jest zrównoważony wzrost w słabej formie, eksponują substytucyjność tych dwóch form kapitału, a ci, którzy opowiadają się za silną formą zrównoważonego rozwoju, twierdzą, że te formy kapitału są komplementarne, a o substytucyjności w ogóle nie może być mowy. Omawiany artykuł ma formę przeglądu wkładu N. Georgescu-Roegena do ekonomii ekologicznej. Naukowiec ten patrzył na proces produkcyjny jako na pewien proces transformacji, w którym strumień materiałów, energii i informacji jest transformowany na produkt za pomocą kapitału fizycznego i pracy. W takim ujęciu nietrudno dostrzec, że tym, co jest transformowane, jest właśnie kapitał naturalny, a zatem środowisko oraz zasoby naturalne. Kapitał fizyczny jest narzędziem transformacji, a zatem zdecydowanie możemy mówić tu o komplementarności tych form. Na dodatek poczynić można spostrzeżenie, że stworzenie kapitału fizycznego samo w sobie wymaga kapitału naturalnego, a i czynnik ludzki – praca – do swojego istnienia potrzebuje żywności, która jest przecież także przetworzonym kapitałem naturalnym.

Substytucyjność pomiędzy pewnymi grupami kapitału naturalnego nie budzi kontrowersji, lecz substytucję pomiędzy kapitałem fizycznym a naturalnym uważał Georgescu-Roegen (1971) za jedną z największych pomyłek współczesnej ekonomii. Istniejący paradygmat, wykorzystujący np. funkcję produkcji typu CES lub Cobba-Douglasa, a zatem funkcje, w których czynniki produkcji są do pewnego stopnia substytucyjne, uważał za absurdalne. Z nich bowiem wynika, że przy bardzo dużych nakładach kapitału fizycznego wystarczy mieć niewielkie, wręcz znikome ilości kapitału naturalnego do utrzymania jednakowego poziomu produkcji. Tymczasem kapitał fizyczny sam potrzebuje kapitału naturalnego jako źródła energii, a zatem olbrzymi jego nakład wymagać będzie równie dużego nakładu kapitału naturalnego. Tu jednak Georgescu-Roegen dostrzega pewną, acz niewielką możliwość substytucji. Możliwością tą jest dostarczenie przez kapitał fizyczny podobnych usług, jakie zapewnia kapitał naturalny – tu jako przykład podana jest użyteczność okularów przeciwsłonecznych i innych okryć w przypadku uszczuplenia powłoki ozonowej. Taką substytucję nazywa bezpośrednią, w odróżnieniu od substytucji pośredniej, polegającej na tym, że nowy, bardziej zaawansowany technologicznie kapitał fizyczny może umożliwić efektywniejsze wykorzystanie zasobów naturalnych, mniejszą ilość strat, mniejsze zużycie energii itp. Tu konieczne jest spostrzeżenie, że postęp techniczny też wymaga zaangażowania zasobów kapitału fizycznego, ludzkiego i naturalnego, skąd płynąć ma wniosek, że postęp techniczny także ma swoje granice[3].

Rolę postępu technicznego w obniżaniu wykorzystania zasobów naturalnych przypadającego na jednostkę produktu zauważają Growiec i Schumacher (2008). Piszą, że postęp techniczny, zarówno rozumiany egzogenicznie, jak i endogenicznie, może być jednym z rozwiązań problemu nieodnawialności zasobów naturalnych, jako przykład podają samochody, których kolejne generacje są w stanie jeździć coraz dłużej, zużywając coraz mniejsze ilości paliwa. Podsumowują istniejące badania stwierdzeniem, iż z pewnością jednym z warunków na to, by poziom produkcji nie obniżał się w przyszłości, jest wystarczająco szybki postęp techniczny. Praca zawiera teoretyczny model wzrostu gospodarczego, w którym w funkcji produkcji typu CES występuje, objawiający się na trzy różne sposoby, postęp techniczny.

[3] Autor niniejszej pracy nie jest przekonany o poprawności tego wniosku. Głównym kontrargumentem wydaje się być idea postępu technicznego zamieszczona w pracy Romera (1990). Paul Romer twierdzi bowiem, że postęp techniczny polega na tym, że dostępnych mamy wciąż tyle samo różnych materiałów, a jedyne co zmienia się w czasie to ilość możliwości ich łączenia. Te nowe pomysły stają się coraz bardziej wyszukane, generują jednak produkty konsumpcyjne i kapitałowe coraz lepszej jakości, odpowiadając jednocześnie na istniejący popyt.

Jedną z jego manifestacji jest zmiana w czasie wielkości elastyczności substytucji pomiędzy dwoma czynnikami produkcji, nazwanymi tu odnawialnym i nieodnawialnym zasobem. Jak wiadomo, w przypadku granicznym, gdy elastyczność substytucji dąży do zera funkcja CES przyjmuje postać funkcji produkcji typu Leontiewa, a zatem takiej, w której czynniki produkcji są komplementarne. Zwiększanie się jednak stopnia substytucji pomiędzy dwoma czynnikami produkcji, będące efektem egzogenicznego postępu technicznego, rodzi możliwości substytucji obu czynników, w granicy czyniąc te czynniki doskonale substytucyjnymi. Model korzysta z założeń o stałej wielkości zasobów odnawialnych oraz zasobów sił pracy. Rozwiązanie modelu jest analizowane pod kątem wpływu zmian poszczególnych parametrów na stopę wzrostu produkcji. Praca ta stanowi odpowiedź na potrzebę analiz zmian elastyczności substytucji czynników produkcji.

Stern (1994) twierdzi, że nieodkryta jeszcze wiedza sama w sobie może być traktowana jako nieodnawialny zasób naturalny. W ujęciu takim postęp techniczny jest niczym innym, jak tylko wydobywaniem tego zasobu, a inwestycje w postęp techniczny, czyli nakłady na prace badawczo-rozwojowe, będą zatem miały malejące korzyści krańcowe. Podobny wniosek, choć wyprowadzony z badań empirycznych, wyciąga Popp (2002). Analiza danych związanych z ilością patentów zgłoszonych oraz uzyskanych w Stanach Zjednoczonych przeprowadzona w tej pracy oraz w pracy Kortuma i Lernera (1999) prowadzi do wniosku, iż postępujący postęp techniczny, polegający na zwiększaniu się zasobu istniejącej wiedzy (bądź, jak w pracy Sterna (1994), zmniejszaniu się zasobu wiedzy nieodkrytej[4]) napotyka coraz większe trudności. Kolejne bowiem odkrycia, powodujące rzeczywiste powiększenie stopnia poznania świata, są coraz kosztowniejsze i dają wiedzę coraz mniej fundamentalną. Jeżeli substytucja pomiędzy kapitałem naturalnym a fizycznym jest ograniczona, to także i postęp techniczny – gdyby ten był nieograniczony, to oczywiście wspomniana substytucja także.

Dość ciekawa praca Weitzmanna (1999) zawiera oryginalną próbę oszacowania wartości granic wzrostu, jakie pojawiają się poprzez fakt wyczerpywalności zasobów naturalnych. Autor zauważa, że wiele informacji jest zawarte w cenie danego wyczerpywalnego zasobu naturalnego, w tym także przewidywania dotyczące momentu jego wyczerpania. Zadaje pytanie o możliwość zastąpienia zasobów naturalnych przez kapitał[5] w funkcji produkcji.

[4] Ujęcie takie, polegające na tym, iż nieodkryta wiedza już w zasadzie istnieje, należy tylko ją odkryć, może wydać się na pierwszy rzut oka dość dziwne. Warte jednak spostrzeżenia jest to, iż koncepcja ta jest w pełni zgodna z platońską wizją poznawania świata, opartą na anamnezie, por. np. Tatarkiewicz (2011).

[5] Weitzmann pisze ogólnie o „kapitale", prawdopodobnie chodzi tylko o fizyczny.

Autor uwzględnia w modelu możliwość wystąpienia takiej substytucji. Ma to na celu oszacowanie straty na zasobach „bogactwa”, która implikuje obniżoną konsumpcję, jaka występuje poprzez fakt wyczerpywalności zasobów naturalnych. Autor porównuje zatem ścieżkę dynamiki gospodarki jaka występowałaby, gdyby ropa mogła nigdy się nie skończyć, z przewidywaniami dotyczącymi aktualnej ścieżki. Zakłada przy tym, że tempo postępu technicznego będzie takie samo, jakie występowało po II wojnie światowej[6]. Dość sprytne porównanie rozwiązań dwóch zadań maksymalizacyjnych prowadzi do wniosku, że strata ta wynosi mniej więcej 1%. Weitzmann zauważa tu, że ten 1% może być traktowany zarówno jako duża, jak i mała wartość, zależnie od przyjętego punktu widzenia.

Dość często w literaturze, np. w pracy Permana (et. al.) (2003), omawiana jest idea tzw. *backstop technology*. Pojęcie to oznacza technologię umożliwiającą wyeliminowanie zasobów naturalnych z procesu produkcyjnego, której stosowanie w chwili obecnej nie jest efektywne z powodu relatywnie wysokiego kosztu jej użytkowania w stosunku do ceny zasobu. Jeśli jednak cena zasobu naturalnego, z różnych przyczyn, będzie wysoka, to stosowanie *backstop technology* okaże się opłacalne i efektywne, co pozwoli zrezygnować ze stosowania zasobów naturalnych jako czynnika produkcji. Klasycznym przykładem takiej technologii jest wykorzystywanie energii słonecznej jako źródła energii do napędu silnikowego. Istniejąca już w tym momencie technologia umożliwia takie zastosowanie[7], jednak jej powszechne wykorzystywanie jest hamowane przez relatywnie wysoki koszt jej wdrożenia oraz niższą jakość w stosunku do obecnie używanych rozwiązań. Ludzkość jest jednak świadoma możliwości wykorzystania takiej technologii, jej ewentualna opłacalność w przyszłości może wpłynąć na powszechność stosowania. Odmiennym zagadnieniem, lecz blisko powiązanym z powyższym, jest konieczność akumulacji nowego typu kapitału fizycznego, takiego, który będzie mógł być efektywnie używany razem z nową technologią. Idea *backstop technology* ma jeszcze jedną ciekawą implikację – przy braku efektów zewnętrznych, np. zanieczyszczeń środowiska, nieefektywne jest użytkowanie jednocześnie obu źródeł energii, ich występowanie może stanowić bodziec do poszukiwania rozwiązania pośredniego.

[6] Tempo postępu technicznego mierzone jest tutaj zmianą w czasie wartości reszty Solowa.

[7] Pierwsze samochody na baterie słoneczne powstały już w latach 50. XX w. w Stanach Zjednoczonych.

2.2. Model

Z dokonanego w poprzednim podrozdziale przeglądu literatury wynika dość prosty wniosek, że niezwykle istotne dla zachowań gospodarstw domowych[8] jest to, czy kapitał naturalny, rozumiany jako zasoby naturalne i jakość środowiska naturalnego, stanowi w procesie produkcyjnym dla kapitału fizycznego czynnik produkcji komplementarny czy substytucyjny. Jeżeli kapitał fizyczny jest względem kapitału naturalnego substytucyjnym czynnikiem produkcji, to zarówno postęp techniczny, jak i zwiększona akumulacja kapitału fizycznego rozwiąże problem niedostatku zasobów naturalnych. Przy mniejszym bowiem nakładzie zasobów naturalnych, wymuszonym ich zmniejszającą się ilością, większy nakład substytutu, jakim jest kapitał fizyczny, zrekompensuje niedostatek i pozwoli na produkcję na takim samym poziomie, jak poprzednio. Może mieć wówczas zastosowanie reguła Hartwicka, inwestowanie bowiem w kapitał fizyczny zysków płynących ze sprzedaży zasobów naturalnych spowoduje, że przyszłe pokolenia będą miały identyczne (bądź, conajmniej, niegorsze) możliwości produkcyjne, co pokolenie obecne, a zatem (zgodnie z propozycją Solowa) zachowana zostanie zasada sprawiedliwości międzypokoleniowej. Natomiast postęp techniczny, przy substytucyjności tych czynników, pozwala na wytworzenie takiego kapitału fizycznego, który mógłby przejąć kolejne cechy zasobów naturalnych użytkowanych w procesie produkcyjnym, np. wytworzenie miniaturowego silnika o napędzie jądrowym rozwiązałoby problem spalania nieodnawialnych zasobów energetycznych, m.in. ropy naftowej.

Jeżeli natomiast te dwie formy kapitału są względem siebie komplementarne, to wyczerpywanie się złóż zasobów naturalnych uniemożliwi wykorzystanie zasobów kapitału fizycznego w pełnej formie. To w oczywisty sposób doprowadzi do obniżenia się wielkości produkcji. Jedynym rozwiązaniem może być tutaj postęp techniczny, który zastosowanoby do zwiększenia efektywności wykorzystania zasobów naturalnych. Nie jest to jednak rozwiązanie, które mogłoby być stosowane bez ograniczeń.

Nietrudno zauważyć zatem, że to, czy zasoby naturalne są komplementarne czy substytucyjne względem kapitału fizycznego, jest kluczowe dla zachowań i decyzji całej gospodarki. Spróbujmy opisać problematykę wymienności tych dwóch form kapitału, przy udziale postępu technicznego, w prostym modelu wzrostu endogenicznego[9]. Podstawą konstrukcji naszego

[8] W tej perspektywie także i zachowań rządu, który ma moc ustanawiania prawa stanowiącego ograniczenia brzegowe dla zachowań gospodarstw domowych.

[9] Pierwsza wersja opisanego modelu opublikowana została w pracy: Malaczewski (2011a).

modelu jest standardowy model opisany w artykule Lucas (1988)[10], który stanowił jedną z pierwszych usystematyzowanych prób ujęcia wpływu wartości kapitału ludzkiego na wzrost gospodarczy. Rozważamy gospodarkę zamkniętą[11], bez widocznego udziału państwa. W gospodarce tej występują dwa rodzaje jednostek, gospodarstwa domowe oraz przedsiębiorstwa. Gospodarstwa domowe składają się łącznie z L nieskończenie długo żyjących jednostek. Każdy z pracowników może zaangażować pewną część posiadanego czasu niezużywanego na odpoczynek, oznaczoną przez u, na wzięcie udziału w procesie produkcyjnym, a pozostałe $1-u$ czasu – na akumulację własnego kapitału ludzkiego[12] h. Akumulacja ta uzależniona jest od już posiadanych zasobów kapitału ludzkiego[13]. Istotny w procesie produkcyjnym jest też przeciętny poziom wiedzy h_a, reprezentowany tu przez łączną wielkość kapitału ludzkiego będącego w posiadaniu jednostek, podzieloną przez liczbę tych jednostek. Mamy zatem

$$h_a = \frac{\int_0^{+\infty} hL(h)dh}{\int_0^{+\infty} L(h)dh}.$$

Wzrost wielkości przeciętnego zasobu wiedzy jest, jak łatwo wnioskować z powyższego wzoru, ubocznym efektem wzrostu wielkości kapitału ludzkiego u poszczególnych jednostek. Oznacza to, że proces akumulacji h ma w gospodarce podwójny wpływ na wielkość produkcji: przez wzrost poziomu wiedzy zatrudnionych pracowników, którzy bezpośrednio oddziałują na wielkość produkcji, oraz przez wzrost ogólnego poziomu wiedzy, który poprzez postęp techniczny pośrednio wpływa na produkt. Efektywna wielkość

[10] Model ten, będący jednym z pierwszych i jednym z najbardziej znanych modeli wzrostu endogenicznego, stanowi ramy nie tylko dla modelu opisanego w niniejszym rozdziale, ale także dla podobnych modeli, zaproponowanych w rozdziałach kolejnych. Dla wygody czytelnika, podstawowa wersja tego modelu została zawarta w *Załączniku* do niniejszej monografii.

[11] Uwzględnienie wymiany zagranicznej wymagałoby rozszerzenia modelu o aspekty eksportu i importu, konwergencji ekonomicznej, przepływy międzygałęziowe w handlu zagranicznym oraz wahania kursów walutowych. W literaturze wzrostu gospodarczego z reguły pomija się te zagadnienia. Więcej na temat modeli kursów walutowych znaleźć można, np., w pracy: Wdowiński (2010), o przepływach międzygałęziowych w handlu zagranicznym w pracy: Przybyliński (2012), o konwergencji natomiast można przeczytać np. w pracy: Malaga (2004).

[12] Czytelnik pewnie łatwo spostrzeże, że w niniejszej monografii abstrahujemy od istnienia tzw. kapitału społecznego (por. np. Sztaudynger 2005, Milo et al. 2010, Florczak 2011). Literatura ekonomii zasobów naturalnych i wzrostu gospodarczego pomija tę problematykę.

[13] W pracy: Becker (1964) autor sugeruje, iż krańcowe zyski z edukacji mają tendencję do zmniejszania się wraz ze starzeniem się jednostki (por. Aghion, Howitt 1998, s. 330), co powoduje zmniejszenie się chęci poświęcania swego czasu na dalszą naukę umiejętności.

zasobów sił pracy równa jest zatem $L^e = uhL$. Przyjmując założenie o identyczności wszystkich jednostek w gospodarce, dostajemy też, iż h_a co do wartości będzie równa h.

Ze względu na substytucję kapitału fizycznego oraz zasobów naturalnych, w procesie produkcyjnym używane jest dobro kapitałowe M, które składa się po części ze środków trwałych K, a po części z zasobów naturalnych R. Substytucja ta jest postaci Cobba-Douglasa i dana jest wzorem:

$$M = K^{\beta} R^{1-\beta},$$

gdzie $\beta \in (0, 1)$. Zależność powyższą interpretujemy nie jako wynik pewnego procesu produkcyjnego, którego czynnikami produkcji są K i R, ale jako geometryczną średnią ważoną z tych dwóch czynników. Można też patrzeć na powyższą regułę agregacji jako na szczególny przypadek agregacji typu CES[14]. Zauważmy, że postać ta powoduje, że kapitał fizyczny i zasoby naturalne są do pewnego stopnia komplementarne i substytucyjne. Oba czynniki produkcji są tutaj niezbędne – gdyby którykolwiek z nich nie został użyty cała produkcja będzie zerowa. Jednocześnie mała ilość jednego z nich może być skutecznie zrekompensowana przez odpowiednio duży nakład drugiego czynnika. Niski nakład obu tych czynników produkcji z kolei może być zrekompensowany przez odpowiednio duży poziom TFP oraz kapitału ludzkiego wykorzystanego w procesie produkcyjnym. Parametr β pełni tutaj rolę wagi obu czynników – kapitału fizycznego i zasobów naturalnych – w kompozytowym czynniku produkcji, jakim jest M. Im β jest bliższe 1, tym większą wagę posiada tu kapitał fizyczny, zaś zasoby naturalne odgrywają relatywnie niską rolę w procesie produkcyjnym. Gdy z kolei β jest niskie, bliskie 0, rola zasobów naturalnych jest niepomiernie większa niż rola kapitału fizycznego.

Wielkość produkcji dana jest przez funkcję produkcji typu Cobba - Douglasa postaci:

$$Y = AM^{\alpha}(uhL)^{1-\alpha} h_a^{\gamma},$$

gdzie $\alpha, \gamma \in (0, 1)$, a A jest pewnym stałym współczynnikiem, który z reguły w literaturze utożsamia się z poziomem zaawansowania technologicznego gospodarki. Ze względu jednak na wyróżniony udział kapitału ludzkiego

[14] Substytucja ta powinna w zasadzie zostać opisana za pomocą funkcji CES – byłoby to zdecydowanie bardziej poprawne (robią tak, np. Growiec, Schumacher 2008). Niestety, wprowadzenie ogólnej funkcji CES w przypadku tego modelu znacząco komplikuje obliczenia i utrudnia klaryfikację wyników. Autor w niniejszym, pierwszym modelu, zdecydował się na prostotę obliczeń, celem zachowania jasności wywodów, stąd przyjęcie funkcji typu Cobba-Douglasa, czyli szczególnego przypadku funkcji CES.

oraz przeciętnego zasobu wiedzy, mającego odzwierciedlać postęp techniczny, parametr A traci część swej technologicznej interpretacji związanej z postępem technicznym określanym jako wzrost poziomu wiedzy. Może być on zatem rozumiany jako wielkość niezmiennej struktury używanej w procesie produkcyjnym, np. zasobu ziemi. Zauważmy też, że przy jednostkowym nakładzie wielkości M oraz jednostkowym nakładzie zasobów kapitału ludzkiego w procesie produkcyjnym ($uhL = 1$) łączna produktywność czynników produkcji dana jest wzorem

$$TFP = Ah_a^{\gamma},$$

a zatem

$$\frac{T\dot{F}P}{TFP} = \gamma \frac{\dot{h}_a}{h_a}.$$

Jednostki realizują konsumpcję, globalnie równą iloczynowi ilości jednostek L oraz przeciętnej konsumpcji na jednostkę, c. Jednostki te podejmują racjonalne decyzje w warunkach konkurencyjnych maksymalizując swą łączną użyteczność daną tu wzorem:

$$\int_0^{+\infty} e^{-\rho t} \frac{1}{1-\sigma}(c^{1-\sigma} - 1)dt,$$

gdzie $\rho \in (0, 1)$ jest współczynnikiem dyskonta konsumpcji, czyli wartością informującą nas o tym, jaka jest relacja użyteczności płynącej z konsumpcji w okresie bieżącym do użyteczności konsumpcji realizowanej w okresie przyszłym, $\sigma > 0$ natomiast jest równa co do wartości elastyczności krańcowej użyteczności konsumpcji przemnożonej przez (-1). Ilość jednostek rośnie w czasie według stałej stopy $n \in (0, 1)$, co daje zależność:

$$\dot{L} = nL.$$

Ewolucja wartości kapitału ludzkiego przebiega według schematu zaproponowanego w pracy Uzawy (1965):

$$\dot{h} = h^{\xi}\delta(1 - u),$$

gdzie $\delta > 0$ jest maksymalną stopą wzrostu h w sytuacji, gdyby cały czas jednostek poświęcany był na rozwój wielkości kapitału ludzkiego. Rosen (1976) pokazał, że przyjęcie $\xi = 1$ jest zgodne z empirycznymi dowodami dotyczącymi przychodów jednostek.

Złoża zasobów naturalnych S występują w momencie początkowym w ilości S_0 a ich zmniejszanie się postępuje w tempie zgodnym z wielkością ich wydobycia R:

$$\dot{S} = -R.$$

Ewolucja zaś kapitału fizycznego przebiega w klasyczny sposób:

$$\dot{K} = I - \lambda K,$$

gdzie $\lambda \in (0, 1)$ jest współczynnikiem deprecjacji kapitału. Inwestycje I natomiast równe są nieskonsumowanej produkcji:

$$I = Y - C.$$

Przeliczając wszystkie wielkości na jednostkę pracy wprowadzamy zmienną $m = \frac{M}{L}$, zmienną $k = \frac{K}{L}$, którą nazwiemy technicznym uzbrojeniem pracy, wartość istniejących zasobów w przeliczeniu na jednostkę pracy $s = \frac{S}{L}$, wielkość wydobycia zasobów naturalnych na jednostkę pracy $r = \frac{R}{L}$ oraz $y = \frac{Y}{L}$, które, będąc wielkością produkcji przypadającą na jednego pracownika, odzwierciedla wydajność pracy. Nietrudno zauważyć, że wynikają z tego następujące zależności:

$$y = Am^{\alpha}(uh)^{1-\alpha}h_a^{\gamma},$$

$$m = k^{\beta}r^{1-\beta},$$

$$\dot{k} = y - c - (\lambda + n)k,$$

$$\dot{s} = -r - sn,$$

Cały model przybiera zatem postać:

$$\int_0^{+\infty} e^{-\rho t}\frac{1}{1-\sigma}(c^{1-\sigma} - 1)dt \to max,$$

$$\dot{k} = Ak^{\alpha\beta}r^{\alpha(1-\beta)}(uh)^{1-\alpha}h_a^{\gamma} - c - (\lambda + n)k,$$

$$\dot{h} = h\delta(1 - u),$$

$$\dot{s} = -r - sn,$$

przy dodatkowym założeniu, że $h_a = h$ z zastrzeżeniami opisanymi już wcześniej, oraz wraz z warunkami transewersalności. Gospodarstwa domowe maksymalizują zatem swoją użyteczność, wybierając udział czasu u, jaki poświęcają na rozwijanie własnego kapitału ludzkiego, poziom konsumpcji c, czym determinują pośrednio wielkość inwestycji w majątek trwały, a także poziom wydobycia zasobów naturalnych r, co określa wielkości produkcji. Zmienne k, h oraz s są w tym problemie zmiennymi stanu.

2.3. Rozwiązanie modelu i analiza wyników

Hamiltonian dany jest wzorem

$$\begin{aligned}\mathbb{H}(c,u,r,k,h,s,\theta_1,\theta_2,\theta_3) = e^{-\rho t}\frac{1}{1-\sigma}(c^{1-\sigma}-1)+\\ +\theta_1(Ak^{\alpha\beta}r^{(1-\beta)\alpha}(uh)^{1-\alpha}h_a^{\gamma}-c-(\lambda+n)k)+\\ +\theta_2(h\delta(1-u))+\theta_3(-r-sn).\end{aligned}$$

Warunki transwersalności mają zatem postać:

$$\lim_{t\to+\infty}\theta_1 k = 0,$$

$$\lim_{t\to+\infty}\theta_2 h = 0,$$

$$\lim_{t\to+\infty}\theta_3 s = 0.$$

Warunki pierwszego rzędu przyjmują następującą postać:

$$\frac{\partial\mathbb{H}}{\partial c} = 0 \Rightarrow e^{-\rho t}c^{-\sigma}-\theta_1 = 0,$$

$$\frac{\partial\mathbb{H}}{\partial u} = 0 \Rightarrow \theta_1(1-\alpha)Ak^{\alpha\beta}r^{(1-\beta)\alpha}u^{-\alpha}h^{1-\alpha}h_a^{\gamma}-\theta_2 h\delta = 0,$$

$$\frac{\partial\mathbb{H}}{\partial r} = 0 \Rightarrow \theta_1((1-\beta)\alpha)Ak^{\alpha\beta}r^{(1-\beta)\alpha-1}(uh)^{1-\alpha}h_a^{\gamma}-\theta_3 = 0,$$

$$\frac{\partial\mathbb{H}}{\partial k} = -\dot{\theta}_1 \Rightarrow -\dot{\theta}_1 = \theta_1(\alpha\beta Ak^{\alpha\beta-1}r^{(1-\beta)\alpha}(uh)^{1-\alpha}h_a^{\gamma}-(\lambda+n)),$$

$$\frac{\partial\mathbb{H}}{\partial h} = -\dot{\theta}_2 \Rightarrow -\dot{\theta}_2 = \theta_1(1-\alpha)Ak^{\alpha\beta}r^{(1-\beta)\alpha}u^{1-\alpha}h^{-\alpha}h_a^{\gamma}+\theta_2(\delta(1-u)),$$

$$\frac{\partial\mathbb{H}}{\partial s} = -\dot{\theta}_3 \Rightarrow -\dot{\theta}_3 = -\theta_3 n.$$

Wykorzystując teraz fakt, że $h_a = h$, powyższe równania zapisać można następująco:

$$e^{-\rho t}c^{-\sigma} = \theta_1,$$

$$\theta_1(1-\alpha)Ak^{\alpha\beta}r^{(1-\beta)\alpha}u^{-\alpha}h^{1-\alpha+\gamma} = \theta_2 h\delta,$$

$$\theta_1((1-\beta)\alpha)Ak^{\alpha\beta}r^{(1-\beta)\alpha-1}u^{1-\alpha}h^{1-\alpha+\gamma} = \theta_3,$$

$$-\dot{\theta}_1 = \theta_1(\alpha\beta Ak^{\alpha\beta-1}r^{(1-\beta)\alpha}u^{1-\alpha}h^{1-\alpha+\gamma}-(\lambda+n)),$$

$$-\dot{\theta}_2 = \theta_1(1-\alpha)Ak^{\alpha\beta}r^{(1-\beta)\alpha}u^{1-\alpha}h^{-\alpha+\gamma} + \theta_2(\delta(1-u)),$$
$$-\dot{\theta}_3 = -\theta_3 n.$$

Definiujemy stan równowagi jako sytuację, w której wszystkie zmienne rosną według stałych stóp wzrostu. Nietrudno zauważyć, iż oznacza to, że w gospodarstwach domowych udział czasu poświęcanego na pracę jest stały. Uzyskany układ równań, wraz z uprzednio omówionymi równaniami ruchu dla zmiennych stanu (czyli dla k, h, s) daje rozwiązanie następujące[15] :

$$u^* = \frac{\beta(\alpha n(1-\sigma)+\rho\alpha) - \rho + (1-\sigma)(\delta(1-\alpha+\gamma)-\alpha n)}{\delta(\beta\sigma\alpha+\gamma(1-\sigma)-\sigma)},$$
$$g_h^* = \delta(1-u^*),$$
$$g_r^* = -(\delta u^* + n),$$
$$g_c^* = g_k^* = u^*\frac{(1-\beta)\alpha\delta + (1-\alpha+\gamma)\delta}{\alpha\beta-1} + \frac{(1-\beta)\alpha n - (1-\alpha+\gamma)\delta}{\alpha\beta-1},$$

gdzie g_x^* jest stopą wzrostu zmiennej x w stanie równowagi. Warunki transwersalności sprowadzają się do dwóch równań:

$$-\rho + (1-\sigma)g_k < 0,$$

i

$$-\sigma u^* < 0,$$

które, jak nietrudno zauważyć, są spełnione, jeśli tylko $\sigma \geqslant 1$. Startowa wielkość wydobycia zasobów naturalnych określona tak, by w nieskończoności wyczerpać całość złóż, wynosi $R_0 = S_0\delta u^*$. Oczywiście mamy też:

$$\begin{aligned}
g_y^* &= \alpha\beta g_k^* + (1-\beta)\alpha g_r^* + (1-\alpha+\gamma)g_h^* = \\
&= \alpha\beta(u^*\frac{(1-\beta)\alpha\delta + (1-\alpha+\gamma)\delta}{\alpha\beta-1} + \frac{(1-\beta)\alpha n - (1-\alpha+\gamma)\delta}{\alpha\beta-1}) + \\
&\quad + (1-\beta)\alpha(-(\delta u^*+n)) + (1-\alpha+\gamma)(\delta(1-u^*)) = \\
&= \alpha\beta(u^*\frac{(1-\beta)\alpha\delta + (1-\alpha+\gamma)\delta}{\alpha\beta-1} + \frac{(1-\beta)\alpha n - (1-\alpha+\gamma)\delta}{\alpha\beta-1}) - \\
&- (\alpha\beta-1)u^*(\frac{(1-\beta)\alpha\delta + (1-\alpha+\gamma)\delta}{\alpha\beta-1} + \frac{(1-\beta)\alpha n - (1-\alpha+\gamma)\delta}{\alpha\beta-1}) = \\
&= u^*\frac{(1-\beta)\alpha\delta + (1-\alpha+\gamma)\delta}{\alpha\beta-1} + \frac{(1-\beta)\alpha n - (1-\alpha+\gamma)\delta}{\alpha\beta-1} = g_k^*.
\end{aligned}$$

[15] Uzyskanie tego rozwiązania wymaga dość skomplikowanych obliczeń, które dla wygody w niniejszej pracy pomijamy. Obliczenia są jednak dostępne u autora niniejszej pracy na życzenie.

Stopa wzrostu gospodarczego jest zatem w tym przypadku identyczna jak stopa wzrostu technicznego uzbrojenia pracy, a także równa stopie wzrostu konsumpcji *per capita*.

Można też zauważyć, że z warunków pierwszego rzędu wynika dla stanu równowagi następująca zależność:

$$k^{\alpha\beta-1}r^{(1-\beta)\alpha}h^{1-\alpha+\gamma} = B,$$

gdzie $B = \frac{\sigma g_c^* + \lambda + n + \rho}{A\alpha\beta u^{*(1-\alpha)}}$ jest pewną stałą. W momencie, w którym gospodarstwo domowe ustala udział czasu poświęcany na działalność produkcyjną, jednoznacznie ustala też stopę wzrostu kapitału ludzkiego oraz stopę ubytku zasobów naturalnych. Wyznacza to także stopę wzrostu technicznego uzbrojenia pracy, a tym samym stopę wzrostu konsumpcji. Jeżeli zatem mamy dwie gospodarki o identycznych parametrach oraz o jednakowym wyposażeniu w zasoby naturalne i kapitał ludzki, lecz z odmienną ilością kapitału fizycznego, to ta z nich, która jest lepiej w ten kapitał wyposażona, osiągnie wyższą wartość wydajności pracy, tym samym – konsumpcji na jednostkę pracy, czyli także wyższą łączną użyteczność. Na ścieżce równowagi rozwijać się jednak obie będą w takim samym tempie, co uniemożliwia gospodarce „biedniejszej" (gorzej wyposażonej w k) dogonienie gospodarki „bogatszej". Analogiczny wniosek wypływa z sytuacji dwóch gospodarek, różniących się jedynie zasobem kapitału ludzkiego bądź wielkością złóż zasobów naturalnych – gospodarka lepiej wyposażona w którykolwiek z tych zasobów osiągać będzie wyższą wielkość konsumpcji przypadającej na jednostkę pracy, lecz obie rozwijać się będą na ścieżce równowagi dokładnie w tym samym tempie, z identyczną stopą wzrostu gospodarczego. Metodą na zrównanie poziomu rozwoju gospodarek o różnym wyposażeniu w poszczególne zasoby może być zróżnicowanie parametrów (np. poprzez wpływanie na wielkość n bądź δ). Jeżeli jednak w takiej sytuacji gospodarka biedniejsza uzyska wyższą stopę wzrostu gospodarczego, to w skończonym czasie osiągnie poziom gospodarki bogatszej, po czym wyprzedzi ją i nie pozwoli się jej już dogonić.

Zauważmy, że gdy $\sigma = 1$[16] optymalne stopy wzrostu poszczególnych zmiennych oraz udział czasu przeznaczonego na działalność produkcyjną wynoszą:

$$u^* = \frac{\rho}{\delta},$$

$$g_h^* = \delta - \rho,$$

$$g_r^* = -(\rho + n),$$

[16] Funkcja użyteczności przyjmuje wówczas postać logarytmiczną.

Tabela 2.1. Znaki odpowiednich pochodnych dla przypadku $\sigma = 1$

	$x = \delta$	$x = \gamma$	$x = \beta$	$x = \rho$
$\frac{\partial u^*}{\partial x}$	< 0	$= 0$	$= 0$	> 0
$\frac{\partial g_h^*}{\partial x}$	> 0	$= 0$	$= 0$	< 0
$\frac{\partial g_r^*}{\partial x}$	$= 0$	$= 0$	$= 0$	< 0
$\frac{\partial g_c^*}{\partial x} = \frac{\partial g_k^*}{\partial x} = \frac{\partial g_y^*}{\partial x}$	> 0	Jeśli $\delta - \rho \geqslant 0$ to > 0	Jeśli $\delta - \rho \geqslant 0$ to < 0	< 0

Źródło: obliczenia własne.

$$g_c^* = g_k^* = g_y^* = \frac{(\beta - 1)\alpha(\rho + n) + (\delta - \rho)(1 - \alpha + \gamma)}{(1 - \alpha\beta)}.$$

Zauważmy, że tak zredukowane wzory mają dość oczywistą interpretację. Dla przykładu, nietrudno zauważyć, że r zachowuje się zgodnie z regułą Hotellinga (1931)[17]. Kapitał ludzki natomiast zmienia się w zależności od wzajemnej relacji parametru efektywności procesu akumulacji h oraz stopy dyskonta konsumpcji, reprezentującej niecierpliwość konsumenta. Nie będzie on zatem inwestował w kapitał ludzki, z którego zwrot otrzyma dopiero po pewnym czasie, jeśli efektywność tej inwestycji nie pozwala mu uzyskać wyższego zdyskontowanego poziomu konsumpcji w przyszłości niż otrzymany byłby obecnie przy większym zaangażowaniu dostępnego czasu w produkcję.

W tym szczególnym przypadku dość łatwo jest przedstawić znaki pochodnych poszczególnych stóp wzrostu oraz wielkości u względem parametrów $\beta, \gamma, \delta, \rho$. Znaki tych pochodnych przedstawione są w tab. 2.1.

Zauważmy, że poprawa efektywności procesu akumulacji kapitału ludzkiego, mierzona poprzez wzrost parametru δ, zwiększa g_h^*, ale wpływa także na udział czasu poświęcony na jego akumulację. Oznacza to, że zwiększenie

[17] Reguła ta omówiona została w rozdziale pierwszym. Rolę stopy procentowej w analizowanym modelu odgrywa parametr ρ, w długim okresie cena zmienia się proporcjonalnie do podaży zasobów naturalnych.

efektywności akumulacji kapitału ludzkiego zachęca jednostki do większego inwestowania czasu w rozwój h. Zauważmy też, że jedynie stopa dyskonta konsumpcji ma w tym przypadku wpływ na zmianę stopy zużycia zasobów naturalnych – logarytmiczny kształt funkcji użyteczności chwilowej, określony przez jednostkową wielkość elastyczności użyteczności krańcowej, determinuje ścieżkę wydobycia złóż tak, że zmiana innych parametrów modelu (oprócz ρ i n) nie spowoduje już jej modyfikacji. Ten wniosek sugeruje dużą rolę preferencji konsumenckich w tym modelu.

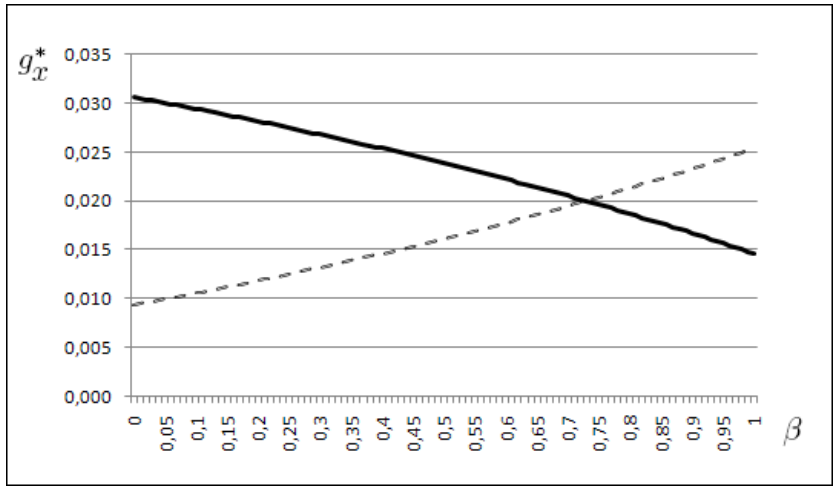
Niestety, w przypadku innym niż $\sigma = 1$ nie jest możliwe (poza pojedynczymi przypadkami) jednoznaczne wskazanie kierunku wpływu zmiany wartości parametru na poszczególne stopy wzrostu, znaki odpowiednich pochodnych są zależne od kombinacji wartości kilku parametrów powiązanych nieliniowymi zależnościami. Możliwe jest natomiast wyliczenie wartości stóp wzrostu poszczególnych zmiennych dla kombinacji różnych parametrów. Przyjmijmy zatem następujące wartości parametrów $\alpha = 0,33$, $n = 0,03$, $\rho = 0,04$[18]. Trudno jest wskazać w literaturze wiarygodne oszacowania pozostałych czterech parametrów, $\sigma, \delta, \gamma, \beta$. Przy przyjęciu jednak pewnych ich wartości posłużono się następującą argumentacją.

Parametr σ, będący elastycznością użyteczności krańcowej, odpowiada za stopień wygładzania ścieżki konsumpcji, tzn. przy niskich jego wartościach, mniejszych od 1, gospodarstwa domowe akceptują ścieżkę konsumpcji o dużych wahaniach w czasie. Badania przeprowadzone na gospodarstwach domowych wskazują jednak na umiarkowaną skłonność do gładkiej ścieżki konsumpcji, bez wielkich wahań. Stąd przyjmujemy wartość tego parametru na poziomie 2[19]. Parametr δ odpowiedzialny jest za tempo wzrostu kapitału ludzkiego – gdyby gospodarstwa domowe zdecydowały się cały swój czas wolny nie przeznaczony na odpoczynek poświęcić na akumulację kapitału ludzkiego zamiast na pracę, to tempo wzrostu h wynosiłoby dokładnie δ. Ponieważ gospodarstwa domowe przeznaczają na pracę od ok. 60% do ok. 85% swojego czasu wolnego nie przeznaczonego na odpoczynek, to tempo wzrostu h wynoszące ok. $1\% - 3\%$ osiągane jest dla $\delta \approx 0,08$. Takie oszacowanie tego parametru przyjmiemy w naszym badaniu[20].

[18] Przyjęte wielkości parametrów są powszechnie używane i akceptowane w literaturze, por. np. Romer (2000).

[19] Lucas (1988) podjął próbę oszacowania parametrów dla gospodarki USA. Do oszacowania służyło mu wyprowadzone równanie $\rho + 0,014 \cdot \sigma = 0,0675$. Przy przyjęciu, jak u nas, że parametr ρ jest na poziomie $0,04$, oszacowanie parametru σ jest bliskie 2.

[20] Nadmienić należy, że Lucas (1988) uzyskał oszacowanie tempa wzrostu dla h na poziomie ok. 1%, a parametr δ – na poziomie $0,05$.



Rys. 2.1. Stopy wzrostu kapitału ludzkiego (linia ciągła) i produkcji per capita (linia przerywana) w zależności od wysokości parametru β
Źródło: opracowanie własne

Iloczyn parametru γ oraz tempa wzrostu kapitału ludzkiego daje tempo wzrostu TFP. Jeżeli zatem tempo wzrostu kapitału ludzkiego zawiera się w przedziale $1\% - 3\%$, a tempo wzrostu TFP szacowane jest na ok. 1%[21], to parametr γ powinien wynosić ok. $0,5$[22].

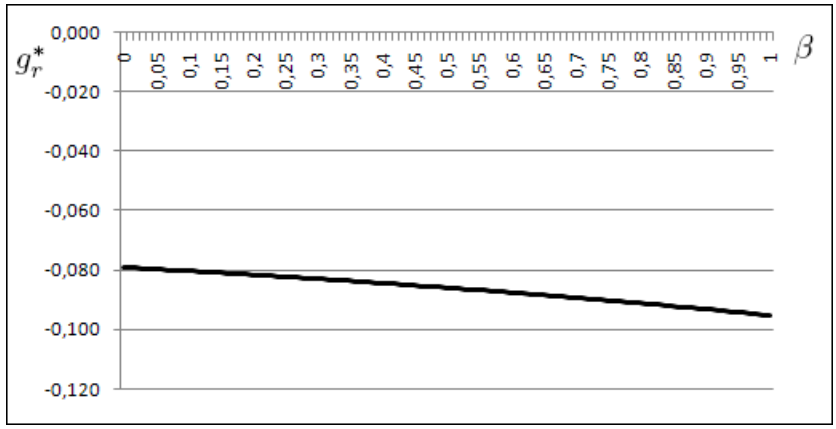
Pozostały parametr β, mierzący udział kapitału fizycznego w zagregowanym czynniku produkcji, jakim był M, trudny jest do oszacowania, choć także i tutaj występują w literaturze argumenty na rzecz pewnych jego wartości. I tak, wartość $0,5$ sugeruje jednakowy udział zarówno kapitału fizycznego, jak i zasobów naturalnych, w procesie produkcyjnym. Wartość $0,75$ pozwala dokonać analizy sytuacji zgodnej z sugestią Solowa (1974)[23]. Wreszcie, dokonać można analizy sytuacji sugerowanej w pracy Permana et al. (2003), gdzie użyto tego parametru na poziomie $0,9$.

Przy tak przyjętych oszacowaniach wartości poszczególnych parametrów wykres zależności stóp wzrostu dla zmiennych h i y (czyli poprzez to dla k i c) od wysokości parametru β przedstawiony jest na rys. 2.1. Rysunek 2.2 natomiast przedstawia wykres zależności stopy wydobycia zasobów na-

[21] Jest to kolejne oszacowanie uzyskane dla USA w pracy: Lucas (1988).

[22] Nadmienić należy, że Lucas (1988) uzyskał oszacowanie parametru γ w wysokości $0,417$.

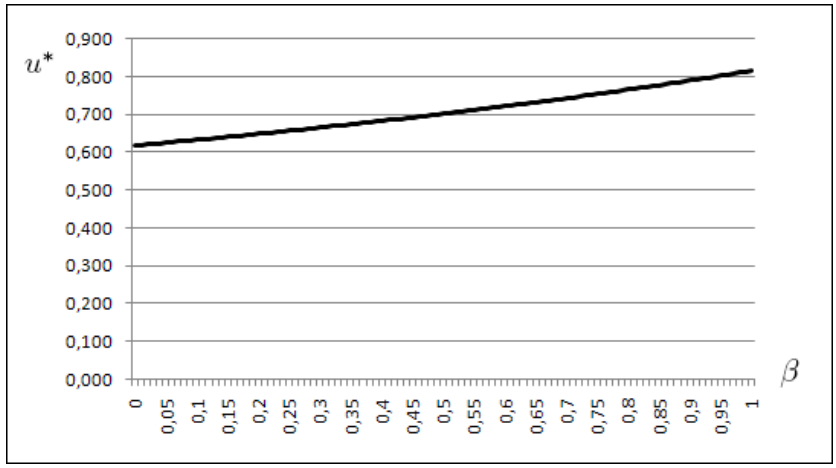
[23] Jeżeli udział kapitału fizycznego w procesie produkcyjnym jest mniej więcej 3 razy większy niż udział zasobów naturalnych, to oznacza to przyjęcie parametru β w analizowanym modelu na poziomie $0,75$. Wówczas udział zasobów naturalnych wynosi $0,25$ i jest trzy razy mniejszy od udziału kapitału fizycznego.



Rys. 2.2. Stopy zmian wydobycia zasobu naturalnego w zależności od wysokości parametru β
Źródło: opracowanie własne

turalnych w zależności od wysokości parametru β, a na rys. 2.3 wskazano wysokość udziału czasu nie przeznaczonego na odpoczynek spożytkowanego na pracę produkcyjną w zależności od wysokości parametru β. Z rys. 2.1 można wnioskować, że jeżeli przyjąć, iż przeciętna stopa wzrostu produkcji per capita wynosi ok. 2%[24], to parametr β wynosić powinien ok. $0,75$, co z kolei sugerował Solow (1974). Wówczas gospodarka wykazuje się stopą wzrostu kapitału ludzkiego równą ok. 2%, a ok. 75% czasu nieprzeznaczonego na odpoczynek gospodarstwa domowe spożytkowują na pracę produkcyjną. Oznacza to także, że ok. jedną czwartą czasu nieprzeznaczonego na odpoczynek gospodarstwa domowe spożytkowują na rozwój kapitału ludzkiego – zdobywanie umiejętności, poszerzanie wiedzy itp. Stopa zmian wydobycia zasobów naturalnych wynosi ok -9%, co oznacza, że wielkość wydobycia zasobów naturalnych i użytkowania tegoż wydobycia w procesie produkcyjnym powinna o ok. 9% z okresu na okres maleć. W chwili startowej należy wydobywać ok. $5-6\%$ całego znajdującego się w ziemi znanego złoża zasobów. Postęp technologiczny, objawiający się w modelowanej gospodarce przez akumulację kapitału ludzkiego, doprowadzi do takiego wzrostu TFP z okresu na okres, iż zrekompensowany zostanie ubytek produkcji, który następowałby poprzez spadek wydobycia i spożytkowania w procesie produkcyjnym nieodnawialnych zasobów naturalnych.

[24] Jest to zgodne z obserwacjami empirycznymi, przeciętny światowy wzrost w ciągu ostatnich 40 lat wynosił ok. $1,9\%$, por. Sala-i-Martin (2006).



Rys. 2.3. Udział czasu wolnego nie przeznaczonego na odpoczynek spożytkowanego na pracę produkcyjną w zależności od wysokości parametru β
Źródło: opracowanie własne

2.4. Wnioski

Skonstruowany model, oparty na klasycznym modelu Lucasa, ma wbudowane trzy kanały oddziaływania postępu technicznego na całą gospodarkę.

Po pierwsze, możliwe to jest poprzez substytucję zasobów naturalnych i kapitału fizycznego w procesie produkcyjnym. Postęp techniczny objawia się w tym przypadku poprzez zmianę udziału tych dwóch czynników produkcji w procesie produkcyjnym. Przy zwiększaniu się zatem udziału kapitału fizycznego w procesie produkcyjnym (wzrost parametru β), możliwy jest do uzyskania ten sam produkt przy jednocześnie mniejszym zużyciu zasobów naturalnych. Ponieważ jednak w modelowanej gospodarce gospodarstwom domowym nie zależy na utrzymaniu jakichkolwiek zasobów naturalnych (nie czerpią one z faktu istnienia zasobów naturalnych żadnej użyteczności ani żadnej dysużyteczności z tytułu ich zużywania się), a jedynie na wysokim poziomie konsumpcji, gospodarka korzysta raczej z możliwości uzyskania większego produktu przy takich samych nakładach zasobów naturalnych. Daje to większe możliwości konsumpcyjne i inwestycyjne.

Po drugie, TFP posiada składnik zależny od poziomu zakumulowanego kapitału ludzkiego, co pozwala przy jednakowych nakładach wszystkich czynników produkcji na uzyskanie wyższego produktu. Ponieważ przeciętny ogólny poziom wiedzy jest tutaj równy przeciętnemu posiadanemu zasobowi kapitału ludzkiego, funkcja produkcji charakteryzuje się rosnącymi efektami skali.

Po trzecie, sam zakumulowany kapitał ludzki jest tu czynnikiem produkcji, co pozwala czerpać korzyści bezpośrednio z jego wielkości. Efektywność procesu akumulacji jest także opisana pewnym parametrem, którego zwiększenie zachęca do poświęcania większego odsetka czasu na uczenie się i badania. Efekty postępu technicznego, rozumianego na jeden z tych trzech sposobów, są jednak, jak pokazuje nasza analiza, zależne od preferencji konsumentów, konkretnie od elastyczności użyteczności krańcowej.

Zauważmy, że w tak skonstruowanym modelu tempo rozwoju gospodarki na ścieżce równowagowego wzrostu jest niezależne od wyposażenia w poszczególne zasoby. Wyższa wartość zmiennych k, h, s implikuje jedynie wyższą wartość produkcji i tym samym konsumpcji, stopa wzrostu gospodarczego pozostaje jednak w każdym przypadku taka sama. Konkluzja płynąca z tego jest następująca – zrównanie poziomu rozwoju gospodarki biedniejszej z gospodarką bogatszą może nastąpić w drodze odpowiedniego zwiększenia jej wyposażenia w kapitał fizyczny lub ludzki. Jeżeli obie gospodarki osiągają identyczne stopy wzrostu, to względny poziom rozwoju pozostaje dokładnie taki sam przez cały czas, pomimo że bezwzględnie obie gospodarki rozwijają się. Różnica parametrów pomiędzy nimi prowadzi do zróżnicowania stóp wzrostu, co z kolei powoduje zwiększanie się dystansu w ich poziomie rozwoju gospodarczego, ewentualnie jego szybkie zmniejszanie się.

Rozdział 3

Od komplementarności do substytucyjności – postęp techniczny a rola zasobów naturalnych we wzroście gospodarczym

3.1. Wprowadzenie

Postępujący rozwój technologii produkcyjnych powoduje powstawanie nowych sposobów wykorzystania zasobów naturalnych, a w istniejących pracach teoretycznych nie są wykluczane możliwości pojawienia się kolejnych. Jak wynika jednak z omówionych w rozdziale drugim prac teoretycznych, trudno jest dziś udzielić odpowiedzi na pytanie o rzeczywistą rolę zasobów naturalnych w procesie produkcyjnym, nie jest bowiem jasne, czy są one komplementarne czy substytucyjne z innymi czynnikami. Opinie badaczy nie są w tym względzie jednoznaczne – z jednej strony dostrzega się komplementarność zasobów naturalnych z kapitałem fizycznym, z drugiej – istniejące nowe formy kapitału fizycznego pozwalają zastąpić lub zmniejszyć zużycie różnych rodzajów zasobów naturalnych w procesach produkcyjnych. Może to świadczyć o częściowej przynajmniej substytucyjności tych dwóch form kapitału, a z pewnością o substytucyjności różnych rodzajów zasobów naturalnych między sobą. Powstaje pytanie o wpływ, jaki te zależności

mają na długookresowy wzrost gospodarczy, bowiem jasnym jest, że wiele produkowanych obecnie dóbr wymaga zużycia nieodnawialnych zasobów naturalnych.

Growiec i Schumacher (2008) badają konsekwencje wpływu postępu technicznego na rolę zasobów naturalnych w procesie produkcyjnym. Autorzy korzystają przy tym z modelu, w którym ów postęp techniczny obrazowany jest na kilka sposobów. Mamy zatem gospodarstwa domowe, maksymalizujące użyteczność U płynącą z konsumpcji C, daną wzorem

$$U(C) = \int_0^{+\infty} \frac{C^{1-\gamma}}{1-\gamma} e^{-\rho t} dt,$$

gdzie $\rho > 0$ jest współczynnikiem dyskonta konsumpcji, a parametr $\gamma > 0$, będący równy elastyczności użyteczności krańcowej przemnożonej przez (-1), określa skłonność gospodarstw domowych do wygładzania konsumpcji. W gospodarce nie ma kapitału fizycznego (przynajmniej jawnie), więc cała produkcja Y przeznaczana jest na konsumpcję. Wielkość produkcji określona jest przez funkcję produkcji postaci:

$$Y = AR^{\beta}L^{1-\beta},$$

gdzie L jest wielkością nakładu pracy użytkowanego w procesie produkcyjnym. Dla uproszczenia założono, że L jest stale równe 1. R jest kompozytowym czynnikiem produkcji, składającym się z zasobów naturalnych nieodnawialnych R_N i zasobów odnawialnych R_O[1]. Gospodarka zawiera S_N złóż zasobu naturalnego nieodnawialnego, który jest uszczuplany wraz ze spożytkowywaniem go w procesie produkcyjnym:

$$\dot{S}_N = -R_N,$$

Dla uproszczenia założono, że wielkość zasobu odnawialnego jest w gospodarce stała, $R_O = const$.

Agregacja obu typów zasobów dana jest wzorem następującym:

$$R = [\psi R_N^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + (1-\psi) R_O^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}},$$

gdzie parametr σ stanowi elastyczność substytucji obu czynników, a ψ waży ich udział w agregatowym zasobie.

Postęp techniczny w tym modelu objawia się na trzy sposoby. Po pierwsze, jako zwykły, egzogeniczny wzrost w czasie TFP w tempie g. Ewolucja parametru A jest zatem następująca:

[1] Autorzy nie wykluczają możliwości uwzględnienia w składzie R_O kapitału fizycznego, który także jest odnawialny.

$$A(t) = A(0)e^{gt},$$

gdzie $g \geqslant 0$. Po drugie, w agregatowym czynniku produkcji R postęp techniczny powodować powinien przesunięcie się wagi obu łączonych form zasobów z zasobu nieodnawialnego na odnawialny. Parametr ψ zatem zmienia się w czasie następująco:

$$\psi(t) = \psi(0)e^{zt},$$

gdzie $z \leqslant 0$. Parametr ψ wykładniczo maleje od poziomu $\psi(0)$ do zera w nieskończoności. Po trzecie, postęp techniczny zmienia stopień substytucji pomiędzy R_N i R_O. Parametr σ zatem także rośnie w czasie w sposób wykładniczy:

$$\sigma(t) = \sigma(0)e^{st},$$

gdzie $s \geqslant 0$. Poprzez wzrost stopnia substytucyjności możemy obserwować zmieniającą się relację pomiędzy oboma typami zasobów. W przypadku gdy $\sigma = 0$ mamy do czynienia z doskonałą komplementarnością obu form zasobów – dla osiągnięcia określonego poziomu produkcji wymagane jest zastosowanie tych zasobów w odpowiednich proporcjach. Agregacja R_N i R_O jest wówczas postaci funkcji Leontiewa, $R = \min\{R_N, R_O\}$. Gdy parametr σ należy do przedziału $(0, 1)$ oba rodzaje zasobów są wciąż wzajemnie komplementarne, stopień tej komplementarności jednak maleje. Gdy σ osiąga wartość 1 agregacja staje się agregacją typu Cobba-Douglasa postaci $R = R_N^{\psi} R_O^{1-\psi}$. Przy takim rodzaju agregacji oba zasoby są niezbędne w procesie produkcyjnym (jeżeli jeden z nich zostanie pominięty, to wielkość produkcji wynosi 0), a jednocześnie są one wzajemnie substytucyjne. Jeżeli parametr elastyczności substytucji obu form zasobów jest większy od jedności, oba rodzaje zasobów są wobec siebie wzajemnie substytucyjne. Stopień tej substytucji rośnie wraz z wysokością parametru σ. Gdy σ dąży do nieskończoności oba rodzaje zasobów stają się doskonale substytucyjne, a ich agregacja jest postaci $R = \psi R_N + (1 - \psi)R_O$.

Autorzy wyprowadzają warunki konieczne do tego, by każdy z typów postępu technicznego mógł być siłą napędową wzrostu gospodarczego, nawet wówczas, gdy warunki początkowe nie są sprzyjające. Zasoby naturalne odnawialne, w przypadku gdy parametr σ jest większy od jedności, mogą służyć gospodarce jako substytut zasobów nieodnawialnych i tym samym rozwiązać problem ich wyczerpywania się. Warunkiem koniecznym do tego jest jednak postęp techniczny, który pozwoli na taką substytucję.

Zasobami odnawialnymi mogą być zarówno niektóre zasoby naturalne, jak i kapitał fizyczny, brak jednak w omawianej pracy procesów inwestycyjnych, które są z nim związane. Tak samo założenie, że zasoby odnawialne

są na poziomie stałym w czasie, jest trudne do zaakceptowania. Dokonamy próby analizy efektów postępu technicznego w podobnym modelu, jednakże przy drobnej zmianie założeń.

3.2. Model

Podstawą konstrukcji modelu jest zatem model zawarty w pracy Growca i Schumachera (2008). Rozważamy gospodarkę zamkniętą, bez widocznego udziału państwa. Gospodarka ta zawiera L nieskończenie długo żyjących jednostek. Dla uproszczenia zakładamy, że $L = 1$ oraz że ilość jednostek jest stała w czasie. Gospodarstwa domowe, składające się z tych jednostek, podejmują racjonalne decyzje w warunkach konkurencyjnej gospodarki, maksymalizując swą łączną użyteczność:

$$U(C) = \int_0^{+\infty} \frac{C^{1-\gamma}}{1-\gamma} e^{-\rho t} dt,$$

gdzie U jest wielkością użyteczności płynącą ze zrealizowanej konsumpcji C, $\rho > 0$ jest współczynnikiem dyskonta konsumpcji, informującym nas o tym, jaka jest relacja użyteczności płynącej z konsumpcji w okresie bieżącym do użyteczności konsumpcji realizowanej w okresie przyszłym, parametr $\gamma > 0$ natomiast określa skłonność gospodarstw domowych do wygładzania konsumpcji w czasie.

Złoża nieodnawialnych zasobów naturalnych występują w modelowanej gospodarce w ilości S_{N0}, a ich zmniejszanie się postępuje w tempie zgodnym z wielkością ich wydobycia:

$$\dot{S}_N = -R_N,$$

gdzie S_N jest wielkością złóż zasobów nieodnawialnych, a R_N – wielkością ich zużycia w procesie produkcyjnym. Oczywiście $S_{N0} \geqslant \int_0^{+\infty} R_N dt$. Równocześnie w modelowanej gospodarce występuje także zasób S_{O0} odnawialnych zasobów, które mogą być utożsamiane z odnawialnymi zasobami naturalnymi lub z zasobami kapitału fizycznego. Zmniejszanie się zasobów odnawialnych postępuje w tempie zgodnym z wielkością ich spożytkowania, jednocześnie odnawiają się one w tempie μ:

$$\dot{S}_O = -R_O + \mu S_O,$$

gdzie S_O jest wielkością zasobów odnawialnych, a R_O – wielkością ich zużycia wykorzystywaną w procesie produkcyjnym. Wymagamy, by w każdym

momencie czasu $S_O \geqslant 0$. W odróżnieniu zatem od modelu zaproponowanego w cytowanej pracy (Growiec, Schumacher 2008) pozwalamy zasobom odnawialnym zużywać się i odnawiać w pewnym tempie. Dopuszczamy zwiększanie się parametru μ w czasie jako jeden z efektów postępu technicznego.

Wielkość produkcji dana jest przez funkcję produkcji typu Cobba-Douglasa postaci:

$$Y = AR^{\beta}L^{1-\beta},$$

gdzie R oznacza łączną wielkość zasobów zużywanych w procesie produkcyjnym, β jest elastycznością produkcji względem wielkości R, a A jest pewnym stałym współczynnikiem, mającym interpretację TFP. Cały postęp techniczny ma źródło zewnętrzne, dopuszczamy zatem wzrost A w czasie, w stałym tempie g:

$$\dot{A} = gA.$$

Łączna wielkość zasobów zużywanych w procesie produkcyjnym R składa się po części z zasobów odnawialnych i nieodnawialnych. Agregacja tych dwóch różnych form jest postaci funkcji typu CES:

$$R = [\alpha(aR_N)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + (1-\alpha)(bR_O)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}},$$

gdzie parametry a i b stanowią o produktywności poszczególnych form zasobów naturalnych, parametr $\alpha \in (0,1)$ waży udział R_N i R_O w zasobie R, σ zaś jest elastycznością substytucji pomiędzy zasobami. W przypadku gdy $\sigma = 0$ mamy do czynienia z doskonałą komplementarnością obu form zasobów. Agregacja powyższa jest wtedy postaci funkcji Leontiewa, $R = \min\{aR_N, bR_O\}$. Jeżeli $\sigma \in (0,1)$ oba rodzaje zasobów są komplementarne, aczkolwiek w różnym stopniu. Gdy $\sigma = 1$ agregacja staje się agregacją typu Cobba-Douglasa postaci $R = (aR_N)^{\alpha}(bR_O)^{1-\alpha}$. Jeżeli parametr elastyczności substytucji obu form zasobów jest większy od jedności, oba rodzaje zasobów są wobec siebie wzajemnie substytucyjne, jej stopień rośnie wraz z σ. Gdy σ dąży do nieskończoności oba rodzaje zasobów stają się doskonale substytucyjne, a ich agregacja jest postaci $R = \alpha aR_N + (1-\alpha)bR_O$. Ponieważ wciąż abstrahujemy od inwestycji w kapitał fizyczny, cała wielkość produkcji przeznaczana jest na konsumpcję:

$$Y = C.$$

Rozwiązujemy zatem zagadnienie optymalizacji dynamicznej, w której maksymalizujemy funkcjonał postaci:

$$\int_0^{+\infty} \frac{Y^{1-\gamma}}{1-\gamma} e^{-\rho t} dt \to max,$$

przy ograniczeniach o postaci następujących równań ruchu:

$$\dot{S}_N = -R_N,$$

$$\dot{S}_O = -R_O + \mu S_O.$$

Zmienne R_N i R_O są zatem w naszym problemie zmiennymi decyzyjnymi, a zmienne S_N i S_O – zmiennymi stanu. Zmiany technologiczne w naszym modelu objawiają się przez wzrost parametrów A, σ, a, b, μ oraz zmniejszanie się α. W następnym podrozdziale przedstawimy rozwiązanie tak skonstruowanego modelu oraz dokonamy jego analizy.

3.3. Rozwiązanie modelu i analiza wyników

Hamiltonian jest postaci następującej:

$$\mathbb{H}(Y, R_N, R_O, S_N, S_O, \theta_1, \theta_2) = \frac{Y^{1-\gamma}}{1-\gamma} e^{-\rho t} + \theta_1(-R_N) + \theta_2(-R_O + \mu S_O).$$

Warunki transwersalności przyjmują postać:

$$\lim_{t \to +\infty} \theta_1 S_N = 0,$$

$$\lim_{t \to +\infty} \theta_2 S_O = 0.$$

Warunki pierwszego rzędu dane są wzorami

$$\frac{\partial \mathbb{H}}{\partial R_N} = 0 \Rightarrow e^{-\rho t} Y^{-\gamma} \frac{\partial Y}{\partial R_N} - \theta_1 = 0,$$

$$\frac{\partial \mathbb{H}}{\partial R_O} = 0 \Rightarrow e^{-\rho t} Y^{-\gamma} \frac{\partial Y}{\partial R_O} - \theta_2 = 0,$$

$$\frac{\partial \mathbb{H}}{\partial S_N} = -\dot{\theta}_1 \Rightarrow -\dot{\theta}_1 = 0,$$

$$\frac{\partial \mathbb{H}}{\partial S_O} = -\dot{\theta}_2 \Rightarrow -\dot{\theta}_2 = \theta_2 \mu.$$

Oznaczmy przez g_X stopę wzrostu w czasie zmiennej X. Uzyskany z warunków pierwszego rzędu układ równań, wraz z uprzednio omówionymi równaniami ruchu dla zmiennych stanu (czyli dla S_N i S_O), daje rozwiązanie następujące[2]:

$$g_{R_N} = \frac{1}{\beta}\left(\frac{1}{1-\beta+\gamma\beta} - 1\right) g + \frac{\rho}{(\beta-1)-\gamma\beta} -$$

$$- (1-\alpha)\sigma\mu \left(\frac{bR_O}{\left(\frac{Y}{A}\right)^{\frac{1}{\beta}}}\right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \left(\frac{1}{\sigma(\beta-1)-\gamma\beta\sigma} + 1\right),$$

$$g_{R_O} = g_{R_N} + \sigma\mu,$$

$$g_Y = g + \frac{\beta(\alpha(aR_N)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} g_{R_N} + (1-\alpha)(bR_O)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} g_{R_O})}{\alpha(aR_N)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + (1-\alpha)(bR_O)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}} =$$

$$= \frac{g-\beta\rho}{1-\beta+\gamma\beta} + \frac{\beta(1-\alpha)\mu}{1-\beta+\gamma\beta}\left(\frac{bR_O}{\left(\frac{Y}{A}\right)^{\frac{1}{\beta}}}\right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}.$$

Można sprawdzić, że stopa zmian R_N jest ujemna, zużycie zatem zasobu nieodnawialnego będzie największe w momencie startowym i będzie malało z czasem. W identycznym tempie będzie spadać zasób S_N. Warunki transwersalności sprowadzają się do równań:

$$g_{RN} < 0,$$

$$(\sigma-1)\mu + g_{RN} < 0.$$

Pierwszy z nich jest oczywiście spełniony, drugi, dla $\sigma \leqslant 1$, spełniony jest automatycznie, dla $\sigma > 1$ wymagane jest odpowiednio niskie μ. Zauważmy, że stopy wzrostu poszczególnych zmiennych zależą nie tylko od parametrów, ale też od wielkości zasobów. Stopy te zmieniają się zatem w czasie wraz ze zmianą udziału zasobów odnawialnych w łącznej wielkości zasobów używanych w procesie produkcyjnym. Dla gospodarki w stanie równowagi możemy dokonać analiz zmian tych stóp wzrostu w przypadku zmiany wielkości poszczególnych parametrów, obserwując tym samym różnice w stopach wzrostu, jakie wystąpić mogą pomiędzy dwiema identycznymi gospodarkami,

[2] Uzyskanie tego rozwiązania wymaga dość skomplikowanych obliczeń, które dla wygody w niniejszej pracy pomijamy. Obliczenia są jednak dostępne u autora niniejszej pracy na życzenie.

Tabela 3.1. Znaki odpowiednich pochodnych

	$x=\sigma$	$x=A$	$x=a$	$x=b$	$x=\mu$	$x=\alpha$	$x=\beta$	$x=g$
$\frac{\partial g_{R_N}}{\partial x}$	<0	<0	$\begin{cases} <0 & \sigma<1 \\ =0 & \sigma=1 \\ >0 & \sigma>1 \end{cases}$	$\begin{cases} >0 & \sigma<1 \\ =0 & \sigma=1 \\ <0 & \sigma>1 \end{cases}$	<0	>0	>0	<0
$\frac{\partial g_{R_O}}{\partial x}$	>0	<0	$\begin{cases} <0 & \sigma<1 \\ =0 & \sigma=1 \\ >0 & \sigma>1 \end{cases}$	$\begin{cases} >0 & \sigma<1 \\ =0 & \sigma=1 \\ <0 & \sigma>1 \end{cases}$	<0	>0	>0	<0
$\frac{\partial g_Y}{\partial x}$	$=0$	$=0$	$\begin{cases} <0 & \sigma<1 \\ =0 & \sigma=1 \\ >0 & \sigma>1 \end{cases}$	$\begin{cases} >0 & \sigma<1 \\ =0 & \sigma=1 \\ <0 & \sigma>1 \end{cases}$	<0	<0	<0	>0

Źródło: obliczenia własne.

różniącymi się jednym tylko aspektem. Ponieważ związki pomiędzy tymi parametrami a obliczonymi wartościami stóp wzrostu są silnie nieliniowe, znaki odpowiednich pochodnych podane będą dla konkretnych wartości pozostałych parametrów. Założymy że $A = R_O = R_N = a = b = 1$, $\gamma = 10$, $\rho = 0,04$, $\alpha = \beta = 0,5$, $\mu = 0,01$, $g = 0,03$, $\sigma \in \{0,5; 1; 2; 10\}$. Uznajemy zatem, że gospodarka wykorzystuje jednostkowe nakłady obu form zasobów oraz posiada jednostkowy stopień zaawansowania technologicznego. Gospodarstwa domowe mają skłonność do dość silnego wygładzania konsumpcji ($\gamma = 10$), a stopa dyskontowa jest w przybliżeniu równa 4%. Łączne zasoby mają udział około 50% w procesie produkcyjnym[3], a obie formy zasobów mają jednakową wagę. Zasób odnawialny regeneruje się w tempie 1% rocznie, a stopa postępu technicznego wynosi mniej więcej 3%. Rozważamy różne możliwości kształtowania się parametru elastyczności substytucji – interesuje nas przypadek zarówno zasobów komplementarnych brutto ($\sigma = 0,5$), agregacji typu Cobba-Douglasa ($\sigma = 1$), jak i dwa przypadki substytucji – słabszej ($\sigma = 2$) i silniejszej ($\sigma = 10$). W tab. 3.1 prezentowane są znaki kolejnych pochodnych po wybranych parametrach.

Z analizy wpływu zmian wartości poszczególnych parametrów na stopy wzrostu głównych zmiennych modelowanej gospodarki, wysnuć można kilka wniosków:

- Zwiększenie stopnia komplementarności/substytucyjności obu rodzajów zasobów nie ma wpływu na stopę wzrostu gospodarczego. Zmiana tego parametru jest głównym, pożądanym tutaj efektem postępu technicznego. Zmniejszanie się stopnia komplementarności w kierunku substytucyjności, a następnie zwiększanie się stopnia substytucyjności tych dwóch czynników produkcji powoduje jedynie wymianę wykorzy-

[3] Jest to wielkość parametru zbliżona do polskich szacunków dla kapitału fizycznego.

stania zasobów nieodnawialnych na wykorzystywanie zasobów odnawialnych. Efekt ten jest zgodny z teorią.

- Skokowa zmiana poziomu TFP (A) nie ma bezpośredniego wpływu na stopę wzrostu gospodarczego. Jeżeli mamy zatem dwie gospodarki, posiadające identyczne parametry mikro- i makroekonomiczne, z których jedna ma wyższy poziom łącznej produktywności czynników produkcji, to obie będą rozwijać się w tym samym tempie. Jedyną korzyścią z posiadania wyższego A jest zużywanie mniejszych ilości obu form zasobów przy osiąganiu jednakowego produktu niż gospodarka o niższym poziomie rozwoju technologii, wykorzystująca proporcjonalnie większe ilości zasobów.

- Zmiana produktywności obu form zasobów wywołuje różne efekty na stopach wzrostu podstawowych zmiennych, zależne od stopnia komplementarności obu czynników produkcji. Na przykład, wzrost produktywności zasobu nieodnawialnego (a) wywołuje spadek stopy zużycia tegoż zasobu (a zatem zwiększenie się jej modułu), jeśli obie formy zasobów są wzajemnie komplementarne oraz wzrost stopy zużycia (czyli zmniejszenie się jej modułu), jeśli te czynniki produkcji są substytucyjne. Identyczny efekt wywołany jest w zużyciu zasobu odnawialnego, odwrotny w stopie wzrostu gospodarczego. Jeżeli zatem mamy dwie identyczne gospodarki, posiadające identyczne wszystkie parametry mikro-i makroekonomiczne, różniące się jedynie wysokością parametru a, oraz zasoby odnawialne i nieodnawialne są komplementarne, to w gospodarce, która ma wyższą produktywność zasobu nieodnawialnego w momencie startowym wykorzystuje się większą ilość R_N, lecz w przyszłości będzie się wykorzystywało mniej tego zasobu. Jest to spowodowane faktem, iż jeżeli zasoby są komplementarne, to podniesienie produktywności jednego z nich daje możliwość zmniejszenia jego wykorzystywania. Zasób ów jest bowiem w procesie produkcyjnym niezbędny, a zatem należy obniżyć jego zużycie, możliwie go oszczędzając. Zauważmy też, że efekt ten jest osiągnięty w przypadku, gdy gospodarstwa domowe mają dość silną skłonność do wygładzania ścieżki konsumpcji. Komplementarność drugiego zasobu także zmusza do stosownego dopasowania używanej wielkości zasobu. Odwrotny efekt występuje gdy zasoby są substytucyjne.

- W przypadku uzyskania wyższej wartości parametru μ, dostajemy obniżenie stopy zużycia obu form zasobów oraz stopy wzrostu gospodarczego. Szybsze odnawianie się zasobu odnawialnego pozwala dokony-

wać jego wyższego zużycia dziś, co pozwala zmniejszyć tempo zmian jego zużycia w przyszłości. Wiąże się to z niższym tempem wzrostu gospodarczego, lecz z wyższym poziomem produkcji.

- Przesunięcie udziałów obu form zasobów w stronę zasobów odnawialnych obniża stopy ich zużycia. Zauważmy, że zmiana tego parametru nie zmienia samego nakładu R_N ani R_O, zwiększa jedynie udział jednego z nich w agregacji. Obniżenie roli zasobu nieodnawialnego podwyższa także stopę wzrostu gospodarczego.

- Zwiększenie udziału zagregowanych zasobów w łącznej produkcji powoduje podniesienie stóp ich zużycia oraz obniżenie stopy wzrostu produkcji. Jest to spowodowane oparciem gospodarki na czynniku produkcji, jakim są zasoby naturalne, m.in., na zasobach nieodnawialnych.

- Zwiększanie się stopy egzogenicznego postępu technicznego g obniża stopy zużycia obu form zasobów oraz podnosi stopę wzrostu gospodarczego. Jest to zgodne z klasycznymi wynikami – głównym mechanizmem wzrostu okazuje się być postęp techniczny. Stopa jego wzrostu pozwala obniżać zużycie obu form zasobów w czasie, w szczególności zużycie zasobów nieodnawialnych.

3.4. Podsumowanie i wnioski

Skonstruowany model, będący rozszerzoną wersją modelu z pracy Growca i Schumachera (2008), uwzględnia proces zużywania się i odnawiania jednej z form zasobów. W stosunku do oryginalnego modelu wprowadzenie kolejnego parametru pozwala uzyskać dalsze wyniki uogólniające dotychczas uzyskane, aczkolwiek należy wprost przyznać, iż analiza rozszerzonego modelu może zostać rozszerzona i nie jest tak bogata, jak ta przeprowadzona w modelu oryginalnym. W dalszym ciągu wymagana jest pogłębiona refleksja nad wynikami.

Tym niemniej zauważyć należy, iż jakościowo wyniki są podobne. I tak, postęp techniczny, odzwierciedlający się w analizowanym modelu na kilka sposobów, za każdym razem prowadzi do obniżenia zużycia obu form zasobów. Innowacje technologiczne zatem, nie tylko nakierowane bezpośrednio na zmianę roli zasobów naturalnych nieodnawialnych w procesie produkcyjnym, ale także na zwykłe podniesienie efektywności wykorzystania wszelkich czynników produkcji, prowadzić będą do zmniejszenia zużycia wyczerpujących się zasobów. Oznaczać to może, iż skonstruowany model generalnie ma

przewidywania technologicznie optymistyczne. W dalszym ciągu jednak wiele nierealistycznych szczegółów wymaga dopracowania. Zauważmy bowiem, że wprowadzenie ujemnej stopy zmian wydobycia i wykorzystania zasobów w procesie produkcyjnym powoduje wykładniczy spadek R_N do zera w nieskończonym czasie. To bezpośrednio prowadzi do sytuacji, gdy w pewnych, dalszych momentach czasu zużywane są w procesie produkcyjnym śladowe ilości tegoż zasobu, np. jedna kropla ropy naftowej, a nawet jej część. Oznacza to, że ropa naftowa skończy się raczej wcześniej niż w nieskończonym czasie, co przewidywane jest w innych pracach (np. Lin et. al. 2009). Wydaje się także, iż należałoby w modelach tego typu wprowadzić zagadnienie akumulacji kapitału fizycznego, a nawet inwestycje w regenerowanie zasobu odnawialnego.

Rozdział 4

Zasoby naturalne jako źródło energii

4.1. Wprowadzenie

Ogromna część światowego popytu na energię zaspokajana jest ze źródeł nieodnawialnych zasobów naturalnych – ropy naftowej, węgla, gazu ziemnego. Nie bez znaczenia zatem pozostaje stopniowe wyczerpywanie się tych źródeł i wpływ tego faktu na wzrost gospodarczy. Związane jest to z brakiem dostatecznie dobrych substytutów, które mogłyby służyć jako źródło energii. Istniejące rozwiązania, takie jak elektrownie wiatrowe, słoneczne i atomowe, nie są jeszcze w stanie dostarczyć wystarczających ilości energii dla całej światowej gospodarki, nie wspominając o znaczących kosztach akumulacji nowoczesnego kapitału.

Brak relatywnie tanich źródeł energii, jakimi są wspomniane już ropa i węgiel, zmusi ludzkość do poszukiwania źródeł alternatywnych. Póki co jednak nie jest możliwe wykorzystywanie ich w sposób równie efektywny, np. powszechnie stosowane silniki samochodowe nie są jeszcze przystosowane do używania energii atomowej bądź, nawet, słonecznej. Nie jest żadną niespodzianką, że koncepcja komplementarności zasobów naturalnych i kapitału fizycznego jest ściśle związana z faktem, iż zasoby naturalne nieodnawialne stanowią dość istotne źródło energii, która w sporej części służy właśnie do uruchomienia maszyn.

Prace omówione w rozdziale drugim niniejszej monografii wskazują na konieczność uwzględnienia w modelach wzrostu gospodarczego postępu technicznego generowanego endogenicznie. We wspomnianych artykułach

autorzy jednak nie dokonywali rozróżnienia pomiędzy energochłonnością procesu produkcyjnego i akumulacji kapitału. W serii prac Pérez-Barahona (2007a, 2007b, 2010, 2011), powołując się na pracę Azomahou et al. (2006), zauważa, że energochłonność procesów akumulacji kapitału fizycznego jest wyższa niż w przypadku dóbr konsumpcyjnych. Wykorzystując dane pochodzące ze Structural Analysis Database (OECD) i Energy Balances and Energy Prices and Taxes (International Energy Agency, dane z 2004 roku) skonstruowano miernik intensywności wykorzystania energii jako iloraz konsumpcji energii w danym sektorze do wartości dodanej w nim uzyskanej dla 14 sektorów gospodarki. Tak zdefiniowana relacja okazuje się być szczególnie duża dla sektorów, które uznać można za sektory powiązane z akumulacją kapitału fizycznego (np. produkcja żelaza i stali – 0,809, transport i przechowywanie – 0,85, produkcja metali nieżelaznych – 0,599, niemetaliczne minerały – 0,507). Tymczasem dla sektorów produkujących typowe, nietrwałe dobra konsumpcyjne wskaźniki te są niższe (żywność i tytoń – 0,134, tekstylia i wyroby skórzane – 0,082, budownictwo, rozumiane jako składanie materiałów budowlanych w całość w celu uzyskania budynków – 0,018).

Omówione wyniki analiz empirycznych sugerują, że modelowanie procesu akumulacji kapitału powinno uwzględniać jego odmienną energochłonność w stosunku do zwykłego procesu produkcyjnego, lub nawet wskazywać akumulację kapitału jako główny sposób zużycia zasobów naturalnych. Pérez-Barahona wskazuje też, że ponieważ (jak wynika z danych International Energy Agency z 2004 roku)[1] paliwa kopalne (czyli nieodnawialne zasoby naturalne) stanowią źródło ok. 80% światowej produkcji energii, to modelowanie akumulacji kapitału fizycznego powinno uwzględniać zużycie zasobów naturalnych. Pérez-Barahona, korzystając z kilku upraszczających założeń, takich jak np. technologia typu AK, wyprowadza rozwiązanie, które pozwala wskazać warunki do tego, by postęp techniczny, nastawiony na oszczędność energii, umożliwił utrzymanie długookresowego wzrostu.

W modelu tym rozważamy gospodarkę trójsektorową – sektor wydobycia zasobów naturalnych, sektor akumulacji kapitału fizycznego oraz sektor produkcji dóbr i usług finalnych. W sektorze dóbr finalnych technologia produkcji jest typu AK:

$$Y = AK,$$

gdzie A jest łączną produktywnością czynników produkcji, a K – zasobem kapitału fizycznego użytkowanym w procesie produkcyjnym. Utworzo-

[1] Wspomnieć w tym miejscu należy, że dane świeższe, dla np. 2011 r., wskazują w dalszym ciągu na podobny udział energii generowanej przy użyciu nieodnawialnych zasobów naturalnych w podaży energii ogółem.

ny w ten sposób produkt jest rozdysponowywany pomiędzy konsumpcję gospodarstw domowych a inwestycje w kapitał fizyczny:

$$Y = C + I.$$

Akumulacja kapitału fizycznego przebiega w nieklasyczny sposób. W proces akumulacji kapitału zaangażowane są z jednej strony standardowe wydatki inwestycyjne, a z drugiej strony użytkowana jest w nim energia wyprodukowana przy użyciu zasobów naturalnych:

$$\dot{K} = (\Omega R)^{\beta} I^{1-\beta},$$

gdzie przez R oznaczamy strumień nieodnawialnych zasobów naturalnych użytkowanych w procesie akumulacji kapitału, $\beta \in (0,1)$. Ω stanowi tutaj odpowiednik TFP i informuje o efektywności procesu produkcji energii. Dopuszczany jest jego wzrost według egzogenicznej stopy wzrostu. W momencie startowym gospodarka ma zasób K_0 kapitału fizycznego.

W momencie startowym gospodarka posiada złoża nieodnawialnych zasobów naturalnych w wysokości S_0, wydobycie zasobów naturalnych w oczywisty sposób uszczupla te złoża:

$$\dot{S} = -R.$$

Oczywiście chcemy, by $\forall_t S(t) \geqslant 0$.

Społeczny planista maksymalizuje użyteczność gospodarstw domowych daną wzorem:

$$\int_0^{+\infty} e^{-\rho t} \ln C dt,$$

gdzie ρ stanowi stopę dyskonta konsumpcji, $\rho \in (0,1)$.

Powyższe założenia dają nam do rozwiązania następujący problem:

$$\int_0^{+\infty} e^{-\rho t} \ln (AK - I) dt,$$

przy ograniczeniach:

$$\dot{K} = (\Omega R)^{\beta} I^{1-\beta},$$

$$\dot{S} = -R,$$

$$\forall_t S(t) \geqslant 0.$$

Nietrudno zauważyć, że powyższy model nie jest zbyt złożony. Pérez-Barahona dokonał jego analitycznego rozwiązania i wyznaczenia ścieżek

ruchu dla wszystkich zmiennych modelu (a zatem dla Y, K, R, S, C i I)[2]. Definiując w standardowy sposób ścieżkę zrównoważonego wzrostu (jako ścieżkę, na której wszystkie zmienne modelu rosną według stałych stóp wzrostu) uzyskujemy następujące wzory na stopy wzrostu poszczególnych zmiennych:

$$g_R^* = g_S^* = -\rho,$$

$$g_K^* = g_\Omega^* + \frac{1-\beta}{\beta} g_A^* - \rho,$$

$$g_Y^* = g_C^* = g_I^* = g_\Omega^* + \frac{1}{\beta} g_A^* - \rho = g_K^* + g_A^*.$$

W powyższym modelu zakładano, że zarówno A, jak i Ω rosną według pewnych, egzogenicznych stóp wzrostu. Znajomość g_A^* i g_Ω^* pozwala podać dokładnie wartości stóp wzrostu wszystkich zmiennych w naszym modelu. Widać, że na tempo wzrostu produkcji ma wpływ nie tylko tempo zmian TFP, ale też wzrost efektywności produkcji energii z nieodnawialnych zasobów naturalnych. Prosty wniosek zatem jest taki, że badania i rozwój nakierowane na efektywność produkcji energetycznej także znajdują odzwierciedlenie we wzroście gospodarczym.

O ile powyżej ujęta w zwięzły sposób idea wykorzystania odmiennej energochłonności przy modelowaniu wzrostu gospodarczego wydaje się być słuszna, o tyle brak ujęcia w niej endogenicznego postępu technicznego wydaje się osłabiać rezultaty. W niniejszym rozdziale podejmiemy zatem próbę konstrukcji modelu uwzględniającego te efekty. Dokonamy także porównania wyników generowanych przez oba modele.

4.2. Model

W niniejszym podrozdziale zostanie dokonana konstrukcja modelu wzrostu endogenicznego uwzględniającego zużycie zasobów naturalnych. Przesłanki teoretyczne w jego konstrukcji wypływają z omówionych wcześniej, m.in. w rozdziale drugim, prac. Następnie ów model zostanie rozwiązany oraz dokonana zostanie analiza generowanych przez niego wyników.

Podstawą konstrukcji naszego modelu po raz kolejny jest standardowy model opisany w artykule Lucas (1988)[3]. Rozważamy gospodarkę zamkniętą, bez widocznego udziału państwa. Gospodarstwa domowe składają się

[2] Obliczenia te były jednak dość złożone i wymagały zaangażowania idei funkcji specjalnych, stąd nie przytaczamy ich w niniejszej pracy, zainteresowanych czytelników zachęcamy do zajrzenia do prac Pérez-Barahona (2007a, 2007b, 2010, 2011).

[3] Szczegóły oryginalnego modelu Lucasa znaleźć można w *Załączniku A*.

łącznie z L nieskończenie długo żyjących jednostek. Liczba jednostek rośnie w czasie według stałej stopy $n \in (0,1)$, co daje zależność:

$$\dot{L} = nL.$$

Jak w standardowym modelu, każdy z pracowników może zaangażować pewną część posiadanego czasu niezużywanego na odpoczynek, oznaczoną przez u, na wzięcie udziału w procesie produkcyjnym, a pozostałe $1-u$ czasu – na akumulację własnego kapitału ludzkiego h. Tempo i forma tej akumulacji jest uzależniona od już posiadanych zasobów kapitału ludzkiego. Jak i poprzednio, istotny jest też przeciętny poziom wiedzy h_a, odzwierciedlający zaawansowanie technologiczne danej gospodarki, reprezentowany tu przez łączną wielkość kapitału ludzkiego będącego w posiadaniu jednostek podzieloną przez ilość tych jednostek. Mamy zatem po raz kolejny $h_a = \frac{\int_0^{+\infty} hL(h)dh}{\int_0^{+\infty} L(h)dh}$. Efektywna wielkość zasobów sił pracy wykorzystywanych w procesie produkcyjnym równa jest zatem $L^e = uhL$. Przyjmując założenie o identyczności wszystkich jednostek w gospodarce, dostajemy też, iż $h_a = h$. Wielkość produkcji dana jest przez funkcję produkcji:

$$Y = AK^{\alpha}(uhL)^{1-\alpha}h_a^{\gamma},$$

gdzie $\alpha, \gamma \in (0,1)$, a A jest pewnym stałym współczynnikiem. Ze względu jednak na wyróżniony udział kapitału ludzkiego oraz przeciętnego zasobu wiedzy, mającego odzwierciedlać postęp techniczny, parametr A traci część swej technologicznej interpretacji związanej z postępem technicznym określanym jako wzrost poziomu wiedzy. Może być zatem rozumiany jako wielkość niezmiennej struktury używanej w procesie produkcyjnym, np. zasobu ziemi. Zauważmy też, że przy jednostkowym nakładzie czynników produkcji – kapitału fizycznego K oraz jednostkowym nakładzie zasobów kapitału ludzkiego w procesie produkcyjnym ($uhL = 1$) – łączna produktywność czynników produkcji dana jest wzorem

$$TFP = Ah_a^{\gamma},$$

a zatem

$$\frac{\dot{TFP}}{TFP} = \gamma\frac{\dot{h_a}}{h_a}.$$

Jednostki realizują konsumpcję, globalnie równą iloczynowi ilości jednostek L oraz przeciętnej konsumpcji na jednostkę, c. Jednostki te podejmują decyzje maksymalizując swą łączną użyteczność, daną tu wzorem:

$$\int_0^{+\infty} e^{-\rho t} \ln c dt,$$

gdzie ρ jest współczynnikiem dyskonta konsumpcji, czyli wartością informującą nas o tym jaka jest relacja użyteczności płynącej z konsumpcji w okresie bieżącym do użyteczności konsumpcji realizowanej w okresie przyszłym, $\rho \in (0, 1)$[4]. Ewolucja wartości kapitału ludzkiego przebiega według schematu zaproponowanego w pracy Uzawa (1965):

$$\dot{h} = h^{\xi} \delta (1 - u),$$

gdzie $\delta > 0$ jest maksymalną stopą wzrostu h w sytuacji, gdyby cały czas jednostek poświęcany był na rozwój wielkości kapitału ludzkiego. Rosen (1976) pokazał, że przyjęcie $\xi = 1$ jest zgodne z empirycznymi dowodami dotyczącymi przychodów jednostek.

Złoża zasobów naturalnych S występują w momencie początkowym w ilości S_0 a ich zmniejszanie się postępuje w tempie zgodnym z wielkością ich wydobycia R:

$$\dot{S} = -R.$$

Oczywiście chcemy, by $S_0 = \int_0^{+\infty} R dt$.

Ewolucja kapitału fizycznego przebiega tym razem w nieklasyczny sposób, zaczerpnięty z pracy Pérez-Barahona (2011):

$$\dot{K} = \Omega R^{\beta} I^{1-\beta} h_a^{\kappa},$$

gdzie I stanowi wielkość inwestycji w kapitał fizyczny. Zależność powyższą można interpretować jako wynik pewnego procesu produkcyjnego, którego czynnikami są R i I. Można też patrzeć na powyższe równanie jako na szczególny przypadek agregacji typu CES. Parametr β informuje tutaj o udziale zużycia zasobów naturalnych w produkcji energii. Oprócz tego, dopuszczono występowanie efektów akumulacji kapitału ludzkiego. Możliwe jest zatem uzyskanie wyższego wzrostu zasobów kapitału fizycznego przy jednakowych

[4] Nietrudno zauważyć, że tym razem, dla uproszczenia, przyjmujemy postać funkcji użyteczności typu CRRA, w której standardowo wykorzystywany parametr θ, określający elastyczność użyteczności krańcowej, przyjęto na poziomie 1, a zatem funkcja użyteczności chwilowej (w granicy) staje się funkcją logarytmiczną. W innych modelach, np. w rozdziale trzecim, stosujemy bardziej ogólną postać funkcji użyteczności. Jest to oczywiście spowodowane chęcią uproszczenia obliczeń.

nakładach energii płynącej z nieodnawialnych zasobów naturalnych oraz inwestycji, jeżeli tylko podniesie się stopień zaawansowania technologicznego gospodarki. Nietrudno zauważyć, przez analogię do zmian zachodzących w TFP, że wzrost ten następuje w tempie identycznym jak tempo wzrostu kapitału ludzkiego, przemnożone przez parametr κ. Inwestycje natomiast równe są oczywiście nieskonsumowanej produkcji:

$$I = Y - C,$$

gdzie $C = cL$.

Przeliczając wszystkie wielkości na jednostkę pracy, wprowadzamy wielkość $k = \frac{K}{L}$, którą nazwiemy technicznym uzbrojeniem pracy, wartość istniejących zasobów w przeliczeniu na jednostkę pracy $s = \frac{S}{L}$, wielkość wydobycia zasobów naturalnych na jednostkę pracy $r = \frac{R}{L}$ oraz $y = \frac{Y}{L}$, które odzwierciedla wydajność pracy. Cały model przybiera teraz postać:

$$\int_0^{+\infty} e^{-\rho t} \ln c dt,$$

$$\dot{k} = \Omega r^{\beta}(Ak^{\alpha}(uh)^{1-\alpha}h_a^{\gamma} - c)^{1-\beta}h_a^{\kappa} - nk,$$

$$\dot{h} = h\delta(1-u),$$

$$\dot{s} = -r - sn,$$

przy dodatkowym założeniu, że $h_a = h$ z zastrzeżeniami opisanymi już wcześniej. Gospodarstwa domowe maksymalizują zatem swoją użyteczność, wybierając udział czasu u, jaki poświęcają na pracę (i tym samym udział czasu $1-u$, jaki pożytkują na rozwijanie własnego kapitału ludzkiego), poziom konsumpcji c, czym determinują pośrednio wielkość inwestycji w majątek trwały, a także poziom wydobycia zasobów naturalnych r, co ostatecznie określa wielkość akumulacji kapitału fizycznego. Zmienne k, h oraz s są w tym problemie zmiennymi stanu.

W następnym podrozdziale przedstawione zostanie rozwiązanie tak skonstruowanego modelu oraz jego analiza.

4.3. Rozwiązanie modelu i analiza wyników

Hamiltonian dany jest wzorem

$$\begin{aligned}\mathbb{H}(c,u,r,k,h,s,\theta_1,\theta_2,\theta_3) = e^{-\rho t}\ln c + \\ + \theta_1(\Omega r^{\beta}(Ak^{\alpha}(uh)^{1-\alpha}h_a^{\gamma} - c)^{1-\beta}h_a^{\kappa} - nk) + \\ + \theta_2(h\delta(1-u)) + \theta_3(-r - sn).\end{aligned}$$

Warunki transwersalności mają zatem postać:

$$\lim_{t\to+\infty} \theta_1 k = 0,$$

$$\lim_{t\to+\infty} \theta_2 h = 0,$$

$$\lim_{t\to+\infty} \theta_3 s = 0.$$

Wykorzystując fakt, że $h_a = h$, warunki pierwszego rzędu zapisać można następująco:

$$e^{-\rho t}c^{-1} = \theta_1 \Omega r^{\beta}(1-\beta)(Ak^{\alpha}u^{1-\alpha}h^{1-\alpha+\gamma} - c)^{-\beta}h^{\kappa},$$

$$\theta_1 \Omega r^{\beta}(1-\beta)(Ak^{\alpha}u^{1-\alpha}h^{1-\alpha+\gamma} - c)^{-\beta}(1-\alpha)Ak^{\alpha}u^{-\alpha}h^{1-\alpha+\gamma+\kappa} = \theta_2 h\delta,$$

$$\theta_1 \beta \Omega r^{\beta-1}(Ak^{\alpha}u^{1-\alpha}h^{1-\alpha+\gamma} - c)^{1-\beta}h^{\kappa} = \theta_3,$$

$$-\dot{\theta}_1 = \theta_1 \Omega r^{\beta}(1-\beta)(Ak^{\alpha}u^{1-\alpha}h^{1-\alpha+\gamma} - c)^{-\beta}\alpha Ak^{\alpha-1}u^{1-\alpha}h^{1-\alpha+\gamma+\kappa} - \theta_1 n,$$

$$-\dot{\theta}_2 = \theta_1 \Omega r^{\beta}(1-\beta)(Ak^{\alpha}u^{1-\alpha}h^{1-\alpha+\gamma} - c)^{-\beta}(1-\alpha)Ak^{\alpha}u^{1-\alpha}h^{-\alpha+\gamma+\kappa} + \\ + \theta_2 \delta(1-u),$$

$$-\dot{\theta}_3 = -\theta_3 n.$$

Definiujemy stan równowagi jako sytuację, w której wszystkie zmienne rosną według stałych stóp wzrostu. Implikuje to, że gospodarstwa domowe poświęcają na pracę stały udział swojego czasu. Uzyskany układ równań, wraz z uprzednio omówionymi równaniami ruchu dla zmiennych stanu (czyli dla k, h, s) daje następujące rozwiązanie:

$$u^* = \frac{\rho}{\delta} \in (0,1),$$

$$g_h^* = \delta - \rho > 0,$$

$$g_r^* = -(\rho + n) < 0,$$

$$g_y^* = g_c^* = g_i^* = -\rho - \frac{\beta n\alpha - (\gamma + \alpha\kappa)(-\rho+\delta) - \delta(1-\alpha)}{1+\beta\alpha-\alpha},$$

$$g_k^* = -\rho + \delta - \frac{\beta(n+\delta) - \gamma(1-\beta)(-\rho+\delta) - \kappa(-\rho+\delta)}{1+\beta\alpha-\alpha},$$

gdzie g_x^* jest stopą wzrostu zmiennej x w stanie równowagi. Jak nietrudno zauważyć, oznacza to, że startowa wielkość wydobycia zasobów naturalnych

określona tak, by w nieskończoności wyczerpać całość złóż, wynosi $R_0 = S_0\rho$. Warunki transwersalności sprowadzają się do równań:

$$-\rho + (\beta - 1)g_y^* - \beta g_r^* - \kappa g_h^* + g_k^* < 0$$

$$-\rho - \kappa g_h^* < 0$$

$$-\rho < 0$$

Ostatnie dwa są oczywiście spełnione, pierwsze natomiast zachodzi gdy $g_k^* < \rho + (1-\beta)g_y^* + \beta g_r^* + \kappa g_h^*$.

Zauważmy, że wzory na równowagowe stopy wzrostu mają dość oczywistą interpretację. Dla przykładu, r zmienia się zgodnie z regułą Hotellinga (1931)[5]. Kapitał ludzki natomiast zmienia się w zależności od wzajemnej relacji parametru efektywności procesu akumulacji h oraz stopy dyskonta konsumpcji, reprezentującej niecierpliwość konsumenta. Nie będzie on zatem inwestował w kapitał ludzki, z którego zwrot otrzyma dopiero po pewnym czasie, jeśli efektywność tej inwestycji nie pozwala mu uzyskać wyższego zdyskontowanego poziomu konsumpcji w przyszłości niż otrzymany byłby obecnie przy większym zaangażowaniu dostępnego czasu w produkcję.

Rozwiązanie analityczne układu równań różniczkowych, który składa się z równań ruchu zmiennych stanu oraz z warunków pierwszego rzędu, nie jest proste, a być może nawet niewykonalne[6]. Można natomiast zauważyć, że z warunków pierwszego rzędu wynika dla stanu równowagi następująca zależność:

$$Ak^{\alpha}u^{*1-\alpha}h^{1-\alpha+\gamma} - Brk^{\frac{\alpha-1}{\beta}}h^{\frac{1-\alpha+\gamma+\kappa}{\beta}} = c,$$

gdzie $B = \left(\frac{(1-\beta)\alpha A\Omega}{g_c^*+\beta(g_r^*-g_i^*)+n+\rho}\right)^{\frac{1}{\beta}}$ jest pewną stałą. Gospodarstwo domowe ustala równowagowy udział czasu poświęcany na działalność produkcyjną, jednoznacznie ustala też stopę wzrostu kapitału ludzkiego oraz stopę ubytku zasobów naturalnych. Ustalona jest także stopa wzrostu technicznego uzbrojenia pracy, a tym samym stopa wzrostu konsumpcji. Jeżeli zatem mamy dwie znajdujące się w stanie równowagi gospodarki o identycznych parametrach oraz o jednakowym wyposażeniu w zasoby naturalne i kapitał ludzki, lecz z odmienną ilością kapitału fizycznego, to ta z nich, która jest lepiej w ten kapitał wyposażona, osiągnie wyższą wydajność pracy, tym

[5] Reguła ta omówiona została w rozdz. 1. Rolę stopy procentowej w naszym modelu odgrywa parametr ρ, w długim okresie cena zmienia się proporcjonalnie do podaży zasobów naturalnych.

[6] Pérez-Barahona (2011) w swoim modelu dokonał tego dla mniejszego układu przy przyjęciu kilku upraszczających założeń.

Tabela 4.1. Znaki odpowiednich pochodnych

	$x = \rho$	$x = \delta$	$x = \beta$	$x = \kappa$	$x = \gamma$
$\frac{\partial u^*}{\partial x}$	> 0	< 0	$= 0$	$= 0$	$= 0$
$\frac{\partial g_h^*}{\partial x}$	< 0	> 0	$= 0$	$= 0$	$= 0$
$\frac{\partial g_r^*}{\partial x}$	< 0	$= 0$	$= 0$	$= 0$	$= 0$
$\frac{\partial g_y^*}{\partial x}$	< 0	> 0	< 0	> 0	> 0
$\frac{\partial g_k^*}{\partial x}$	< 0	> 0	< 0	> 0	> 0

Źródło: obliczenia własne.

samym – konsumpcji na jednostkę pracy, czyli także wyższą łączną użyteczność. Rozwijać się jednak obie będą w takim samym tempie, co uniemożliwia gospodarce „biedniejszej" (gorzej wyposażonej w k) dogonienie gospodarki „bogatszej". Analogiczny wniosek otrzymujemy w przypadku dwóch gospodarek, różniących się jedynie zasobem kapitału ludzkiego bądź wielkością złóż zasobów naturalnych – gospodarka lepiej wyposażona w którykolwiek z tych zasobów osiągać będzie wyższą wielkość konsumpcji przypadającej na jednostkę pracy, lecz obie rozwijać się będą w tym samym tempie, z identyczną stopą wzrostu gospodarczego. Jest to zgodne z podstawowymi wynikami dla standardowego modelu Lucasa.

Dość łatwo jest przedstawić znaki pochodnych poszczególnych stóp wzrostu oraz wielkości u względem parametrów $\rho, \delta, \beta, \kappa, \gamma$. Znaki tych pochodnych przedstawione są w tab. 4.1. Z jej analizy, a tym samym z analizy wpływu zmian wartości poszczególnych parametrów na główne zmienne modelowanej gospodarki, wysnuć można kilka wniosków:

- Wydobycie zasobów naturalnych odbywa się zgodnie z regułą Hotellinga (1931), niezależnie od innych uwarunkowań gospodarki. Zmiany makrowarunków nie mają wpływu na modyfikację upodobań gospo-

darstw domowych odnośnie do tempa wyczerpywania złóż, będących źródłem energii.

- W szczególności zmiany technologiczne nie mają wpływu na tempo wydobycia zasobów naturalnych. Ani poprawienie efektywności procesu akumulacji kapitału ludzkiego, ani zmiana TFP bądź jego odpowiednika w akumulacji kapitału fizycznego nie ma żadnego wpływu na wydobycie R. Jedynym decydującym czynnikiem są tutaj preferencje konsumentów.

- Wzrost β (elastyczności akumulacji kapitału względem zużycia zasobów naturalnych) powoduje zachętę do zmniejszenia tempa wzrostu produkcji. Staje się tak poprzez zwiększenie efektywności zużycia zasobów naturalnych, a tym samym zmniejszenie efektywności wykorzystania inwestycji w akumulacji kapitału. Tempo wyczerpywania się R pozostaje takie samo, zatem możliwy jest przyrost takiej samej ilości kapitału przy mniejszym nakładzie inwestycji. Prowadzi to zatem do zmniejszenia tempa wzrostu inwestycji, co przekłada się na obniżenie tempa wzrostu produkcji. Zmniejsza to także tempo akumulacji kapitału fizycznego.

- Podniesienie efektywności procesu akumulacji kapitału ludzkiego (δ) zachęca do jego gromadzenia. Owocuje to zmniejszeniem się udziału czasu przeznaczonego na partycypację w procesie produkcyjnym (spadek u^*), co prowadzi do zwiększenia tempa wzrostu h i pośrednio przez to – zwiększenia tempa wzrostu y i k.

- Zmiany stopnia wpływu nowej wiedzy na proces produkcyjny oraz na proces akumulacji kapitału fizycznego, obrazowane przez wzrost wartości parametrów γ i κ, pozytywnie oddziałują na długookresowe stopy wzrostu y i k. Abstrahując od zmiany stóp wzrostu poszczególnych czynników produkcji, większa chłonność wiedzy w danej gospodarce owocuje dodatkowym, pozytywnym wpływem akumulacji kapitału ludzkiego na wielkość produkcji oraz wielkość kapitału fizycznego.

4.4. Porównanie modeli

Zaproponowany model, bazujący na modelu Lucasa, jest modelem w swojej postaci dość ogólnym. Zauważyć można, że skonstruowany przez Pérez-Barahonę model jest jego szczególnym przypadkiem.

Jeżeli w zaproponowanym modelu przyjmiemy:

- ilość zasobów sił pracy na poziomie 1 (unormowanie do startowego poziomu);
- zerową stopę wzrostu zasobów sił pracy, $n = 0$;
- pełny udział kapitału fizycznego w procesie produkcyjnym, $\alpha = 1$;
- zerowy udział sił pracy wykorzystywany w procesie produkcyjnym, $u = 0$,

to model ten sprowadza się do modelu Pérez-Barahony, w którym wszystkie zmienne są w odniesieniu do jednostki zasobów sił pracy, TFP rośnie w tempie $\gamma \cdot \delta$, a efektywność energetyczna wykorzystywania zasobów naturalnych rośnie w tempie $\frac{\kappa\delta}{\beta}$. Nietrudno także spostrzec, iż przy powyższych założeniach wyniki obu modeli są zbieżne. Łatwo także zauważyć korzyść płynącą z analizy modelu ogólniejszego. Model ten bowiem należy do klasy modeli wzrostu endogenicznego, a zatem wskazuje wewnętrzne przyczyny wzrostu gospodarczego. To, w jaki sposób rozwija się w tym modelu kapitał ludzki, determinuje ścieżki wzrostu wszystkich zmiennych gospodarki.

Niestety, wraz ze wzrostem stopnia ogólności modelu rośnie jego stopień skomplikowania. To bezpośrednio przekłada się na utratę możliwości wyznaczenia analitycznej postaci ścieżek wszystkich zmiennych. Pérez-Barahona (2011), konstruując te ścieżki, korzysta z funkcji specjalnych, a samo wyprowadzenie jest dość skomplikowane. Podniesienia stopnia ogólności uniemożliwia dokonanie tego samego, jednakże można porównać stopy wzrostu na ścieżce wzrostu zrównoważonego. Tabela 4.2 przedstawia stopy wzrostu poszczególnych zmiennych w modelu zaproponowanym w pracy Perez-Barahony (2011) oraz w modelu zaproponowanym w niniejszym rozdziale. Nietrudno zauważyć, że stopy te (przy przyjęciu wartości niektórych parametrów na poziomach opisanych powyżej, wskazujących większą ogólność modelu endogenicznego) są równe.

4.5. Podsumowanie i wnioski

Skonstruowany model, oparty na klasycznym modelu Lucasa, uwzględnia odmienną energochłonność procesów akumulacji kapitału fizycznego w stosunku do energochłonności produkcji dóbr konsumpcyjnych. Uwzględnienie endogenicznego wzrostu gospodarczego w takim modelu ma dodatkowe konsekwencje – proces zwiększania się zaawansowania technologicznego danej

Tabela 4.2. Porównanie stóp wzrostu zmiennych używanych w modelu na ścieżce wzrostu zrównoważonego

Stopa wzrostu	Pérez-Barahona (2011)	Model endogeniczny
u^*	n.d.	$\frac{\rho}{\delta}$
g_h^*	n.d.	$\delta - \rho$
$g_r^* = g_s^*$	$-\rho$	$-(\rho + n)$
$g_y^* = g_c^* = g_i^*$	$g_\Omega^* + \frac{1}{\beta} g_A^* - \rho$	$-\rho - \frac{\beta n \alpha - (\gamma + \alpha\kappa)(-\rho+\delta) - \delta(1-\alpha)}{1+\beta\alpha-\alpha}$
g_k^*	$g_\Omega^* + \frac{1-\beta}{\beta} g_A^* - \rho$	$-\rho + \delta - \frac{\beta(n+\delta) - \gamma(1-\beta)(-\rho+\delta) - \kappa(-\rho+\delta)}{1+\beta\alpha-\alpha}$
g_A^*	egz.	$\gamma \cdot \delta$
g_Ω^*	egz.	$\frac{\kappa\delta}{\beta}$

Źródło: obliczenia własne.

gospodarki pozwala uzyskać wyższe stopy wzrostu produkcji *per capita* oraz technicznego uzbrojenia pracy. Postęp techniczny zobrazowany jest tu jako zwiększanie się przeciętnego zasobu kapitału ludzkiego. Ponieważ jednak w modelowanej gospodarce gospodarstwom domowym nie zależy na utrzymaniu jakichkolwiek zasobów naturalnych (nie czerpią one z faktu istnienia zasobów naturalnych żadnej użyteczności ani żadnej dysużyteczności z tytułu ich zużywania się), nie dążą one do zachowania zasobów naturalnych dla przyszłych pokoleń. Tempo zużycia złóż, będących źródłem energii w danej gospodarce, pozostaje niezmienne mimo rosnącego zaawansowania technologicznego gospodarki.

Zauważmy, że w tak skonstruowanym modelu dla gospodarek znajdujących się w stanie równowagi tempo rozwoju jest niezależne od początkowego wyposażenia w poszczególne zasoby. Wyższa wartość zmiennych k, h, s w momencie startowym implikuje jedynie wyższą wartość produkcji i tym samym konsumpcji, stopa wzrostu gospodarczego pozostaje jednak w każdym przypadku taka sama. Konkluzja płynąca z tego jest następująca – zrównanie poziomu rozwoju gospodarki biedniejszej z gospodarką bogatszą może nastąpić w drodze odpowiedniego zwiększenia jej wyposażenia w kapitał fizyczny lub ludzki. Jeżeli obie gospodarki osiągają identyczne stopy wzrostu, to względny poziom rozwoju pozostaje dokładnie taki sam przez cały czas pomimo tego, że bezwzględnie obie gospodarki rozwijają się. Różnica parametrów pomiędzy gospodarkami prowadzi do zróżnicowania stóp wzrostu, co z kolei powoduje zwiększanie się dystansu w ich poziomie rozwoju gospodarczego bądź ewentualnie jego szybkie zmniejszanie się.

Rozdział 5

Środowisko naturalne a wydobycie zasobów naturalnych

5.1. Wprowadzenie

Od mniej więcej lat siedemdziesiątych XX wieku w centrum zainteresowania ekonomistów, zajmujących się teorią wzrostu gospodarczego, znalazł się problem wzajemnych relacji pomiędzy wydobyciem zasobów naturalnych, zanieczyszczeniem środowiska, postępem technicznym a długookresowym wzrostem gospodarczym. Nieodnawialne zasoby naturalne, będące najczęściej źródłem energii dla rozmaitych form kapitału fizycznego, w procesie spalania emitują rozmaite zanieczyszczenia, które obniżają jakość środowiska naturalnego. W oczywisty sposób jest to źródłem dysużyteczności dla gospodarstw domowych, może także obniżać jakość kapitału ludzkiego[1]. Z drugiej strony, bez dostarczenia odpowiedniej ilości energii niemożliwe będzie wykorzystanie zasobu kapitału fizycznego, by wytworzyć wystarczającą ilość dóbr i usług w celu zaspokojenia potrzeb konsumentów. Te dwa fakty związane z wydobyciem i zużyciem nieodnawialnych zasobów naturalnych powodują, iż z gospodarowaniem zasobami naturalnymi, szczególnie tymi, które są źródłem energii oraz zanieczyszczeń, wiąże się klasyczny dylemat wyboru właściwej ilości ich zużycia. Konieczne jest bowiem takie wydoby-

[1] Jest znanym faktem, iż na obszarach, na których występuje większa ilość zanieczyszczeń, przeciętny czas trwania życia ludności jest krótszy niż na obszarach, gdzie takich zanieczyszczeń jest mniej, por. np. Rutkowska (2010).

cie zasobów naturalnych, by jednocześnie zaspokoić potrzeby konsumentów oraz nie doprowadzić do produkcji nadmiernej ilości zanieczyszczeń. Istnieją opinie, że pogarszająca się sytuacja na rynku zasobów (tj. postępujące wyczerpywanie się ich złóż) oraz aspekty środowiskowe (tj. nadmierne zniszczenie środowiska naturalnego) doprowadzą do intensyfikacji działań badawczo-rozwojowych, które rozwiążą opisane problemy. W istocie, możliwe jest to na kilka sposobów, m.in. poprzez efektywne wdrożenie alternatywnych źródeł energii, poprzez obniżenie rozmiarów produkcji zanieczyszczeń itp.

Grimaud, Rougé (2003) zauważają, że w literaturze postawione zostało paradoksalne pytanie – czy możliwy jest nieograniczony postęp techniczny, jeżeli do produkcji (w tym także do wytwarzania nowych technologii) używane są nieodnawialne, ograniczone zasoby naturalne. W serii prac zapoczątkowanej powyższą (Grimaud, Rougé (2005, 2008)) autorzy, przy użyciu skonstruowanych modeli wzrostu z użyciem postępu technicznego, bądź to typu *creative destruction*[2], bądź też innego, próbują odnaleźć dwie ścieżki wzrostu – jedną dla przypadku równowagi konkurencyjnej i drugą dla przypadku planowania społecznego. Autorzy uwzględniają też w swych modelach efekty zewnętrzne – produkcja dóbr generuje zanieczyszczenia proporcjonalne do wielkości spożytkowanych zasobów.

Model Grimaud, Rougé (2005) jest następujący. Rozważamy gospodarkę zamkniętą, w której gospodarstwa domowe, których ilość jest unormowana do jedności, może poświęcić swój czas na pracę w sektorze produkcyjnym lub na pracę w sektorze badawczo-rozwojowym. Mamy zatem:

$$1 = L_Y + L_{RD},$$

gdzie L_Y oznacza czas pracy poświęcony na pracę produkcyjną, a L_{RD} - czas poświęcony na prace badawczo-rozwojowe. Sektor badawczo-rozwojowy, wykorzystując pracę gospodarstw domowych, doprowadza do wzrostu poziomu technologii:

$$\dot{A} = \delta L_{RD} A,$$

gdzie A stanowi poziom wiedzy w modelowanej gospodarce, $\delta > 0$ informuje o maksymalnej stopie wzrostu wiedzy A w przypadku, gdyby całe zasoby sił pracy używane były w działalności badawczo-rozwojowej.

Wielkość produkcji jest generowana przy spożytkowaniu dwóch czynników produkcji – pracy oraz strumienia nieodnawialnych zasobów naturalnych – przy udziale aktualnego poziomu technologii:

[2] Por. Aghion, Howitt (1992).

$$Y = A^{\nu} L_Y^{\alpha} R^{1-\alpha},$$

gdzie $\alpha \in (0,1)$, $\nu > 0$.

Gospodarka posiada zasoby złóż w wysokości S_0. Ich ewolucja w czasie przebiega następująco:

$$\dot{S} = -R.$$

Gospodarstwa domowe maksymalizują użyteczność daną wzorem:

$$\int_0^{+\infty} e^{-\rho t} \left(\frac{1}{1-\varepsilon} C^{1-\varepsilon} - \frac{1}{1+\omega} P^{1+\omega} \right) dt,$$

gdzie C oznacza konsumpcję, a P – poziom zanieczyszczeń emitowanych w wyniku spożytkowania zasobów naturalnych w gospodarce[3], $\sigma, \kappa > 0$. Założona jest też liniowa forma emisji zanieczyszczeń:

$$P = \gamma R,$$

gdzie $\gamma > 0$.

Poszukiwanie ścieżki zbalansowanego wzrostu, na której wszystkie zmienne rosną o stałej stopie wzrostu, prowadzi autorów do następujących wyników:

$$g_R^* = g_P^* = g_S^* = \frac{(\delta\nu - \rho\alpha)(1-\varepsilon)}{\varepsilon + \omega(1-\alpha+\epsilon\alpha)}$$

$$g_A^* = \delta L_{RD}^*,$$

$$g_Y^* = g_C^* = \frac{(\delta\nu - \rho\alpha)(1+\omega)}{\varepsilon + \omega(1-\alpha+\epsilon\alpha)},$$

$$L_{RD}^* = \frac{(\delta\nu - \rho\alpha)(\varepsilon(1-\alpha)+\alpha+\omega)}{\delta\nu(\varepsilon + \omega(1-\alpha+\epsilon\alpha))},$$

$$L_Y^* = 1 - L_{RD}^*.$$

Oprócz powyższego, Grimaud i Rouge wyprowadzają jeszcze rozwiązanie dla gospodarki zdecentralizowanej i próbują odnaleźć narzędzia polityki gospodarczej, które umożliwiłyby uzyskanie drogą rynkową rozwiązania społecznie optymalnego. Możliwe okazuje się to być przy zastosowaniu subsydiów dla działalności badawczo-rozwojowej związanej z wykorzystaniem zasobów odnawialnych oraz jednocześnie podatku nałożonego na zużycie zasobów

[3] W literaturze polskiej można znaleźć kilka pozycji dotyczących modelowania zagadnień ekonomiczno-ekologicznych rozumianych tutaj przez pryzmat zanieczyszczenia środowiska, do takich należy np. Plich (2002).

nieodnawialnych, związanego, jak można przypuszczać, z wielkością produkowanych zanieczyszczeń. Stanowi to, jak nietrudno zauważyć, naturalną zachętę do prowadzenia odpowiednich badań, których wyniki mogą ułatwić substytucję czynników produkcji.

W następnym podrozdziale dokonamy konstrukcji modelu wzrostu endogenicznego, którego założenia są dość podobne do założeń Grimauda i Rougé'a (2005), jednakże uwzględnimy w nim koncepcję postępu technicznego opartego na akumulacji kapitału ludzkiego. Model ten zostanie następnie rozwiązany i poddany szczegółowej analizie.

5.2. Model

Podstawą konstrukcji modelu są praca Grimauda i Rougé'a (2005) oraz model opisany w artykule Lucasa (1988). Podobnie jak w modelach prezentowanych w poprzednich rozdziałach, rozważamy gospodarkę zamkniętą, bez widocznego udziału państwa. Gospodarstwa domowe składają się łącznie z L nieskończenie długo żyjących jednostek. Każda z nich może zaangażować w pracy produkcyjnej pewną część u posiadanego czasu nie zużywanego na odpoczynek, a pozostałe $1-u$ czasu poświęcić na akumulację kapitału ludzkiego h. Efektywna wielkość zasobów pracy używana w produkcji jest równa zatem $L^e = uhL$.

Jak w standardowym model Lucasa (1988), wielkość produkcji określana jest przez funkcję produkcji postaci:

$$Y = AK^{\alpha}(uhL)^{1-\alpha}h_a^{\gamma},$$

gdzie $\alpha, \gamma \in (0,1)$, a A jest stałym współczynnikiem. Istotny w procesie produkcyjnym jest też przeciętny poziom wiedzy h_a, reprezentowany tu przez łączną wielkość kapitału ludzkiego będącego w posiadaniu jednostek podzieloną przez liczbę tych jednostek. Mamy zatem znów

$$h_a = \frac{\int_0^{+\infty} hL(h)dh}{\int_0^{+\infty} L(h)dh}.$$

Przyjmując założenie o identyczności wszystkich jednostek w gospodarce, dostajemy $h_a = h$. Przy jednostkowym nakładzie kapitału fizycznego oraz jednostkowym nakładzie zasobów kapitału ludzkiego w procesie produkcyjnym ($uhL = 1$) możemy wyznaczyć łączną produktywność czynników produkcji:

$$TFP = Ah_a^{\gamma},$$

a zatem

$$\frac{T\dot{F}P}{TFP} = \gamma \frac{\dot{h_a}}{h_a}.$$

Standardowo, złoża zasobów naturalnych S występują w momencie początkowym w ilości S_0 a ich zmniejszanie się postępuje w tempie zgodnym z wielkością ich wydobycia R:

$$\dot{S} = -R.$$

Oczywiście $S_0 = \int_0^{+\infty} Rdt$. Zasoby naturalne stanowią w prezentowanym modelu źródło energii niezbędnej do użytkowania kapitału fizycznego. Te czynniki produkcji, kapitał fizyczny i zasoby naturalne, są zatem w procesie produkcyjnym doskonale komplementarne, użytkować można jedynie taką ilość kapitału fizycznego, jaka może być zasilona za pomocą energii uzyskanej ze spalania wydobytego zasobu naturalnego. Jeżeli zatem produktywność energetyczna jednostki R wynosi b, to mamy następującą równość:

$$K = bR.$$

Zakładamy, że jednostka kapitału fizycznego jest zasilana przez jednostkę energii. Zakładamy też, że kapitału fizycznego mamy zawsze pod dostatkiem, tj. nie ma konieczności dodatkowej jego akumulacji na potrzeby procesu produkcyjnego[4]. Problemem jest jedynie odpowiednie zasilenie kapitału fizycznego jedynym źródłem energii, jakim są tu wyczerpywalne zasoby naturalne.

Ubocznym skutkiem procesu wytwarzania energii potrzebnej do zasilenia kapitału fizycznego są zanieczyszczenia. Strumień zanieczyszczeń jest proporcjonalny do ilości spalonego zasobu naturalnego R:

$$P = \eta R,$$

gdzie $\eta > 0$ jest parametrem określającym ilość zanieczyszczeń produkowanych ze spalenia jednej jednostki nieodnawialnego zasobu naturalnego. Strumień zanieczyszczeń stanowi dla zamieszkującej gospodarkę populacji źródło dysużyteczności. Jednostki tej populacji podejmują racjonalne decyzje maksymalizując swą łączną użyteczność daną wzorem:

[4] Założenie to wydaje się być bardzo restrykcyjne i mało realistyczne, upraszcza jednak znacząco obliczenia i pozwala skoncentrować się na zagadnieniu relacji pomiędzy wydobyciem zasobów naturalnych a jakością środowiska naturalnego.

$$\int_0^{+\infty} e^{-\rho t}\left(\frac{1}{1-\sigma}C^{1-\sigma} - \frac{1}{1+\kappa}P^{1+\kappa}\right)dt,$$

gdzie $\rho > 0$ jest współczynnikiem dyskonta konsumpcji. Parametr $\sigma > 0$ jest równy przeciwności elastyczności użyteczności krańcowej płynącej z konsumpcji, parametr κ może być traktowany analogicznie, w odniesieniu do dysużyteczności płynącej z produkowanego strumienia zanieczyszczeń. Wyższa jego wartość świadczy o większej wadze, jaką gospodarstwa domowe przywiązują do przykrości płynącej z P. Może to być zatem miara dbałości o środowisko naturalne[5].

Zakładamy, iż wielkość zasobów pracy L jest stała w czasie. Pozwala to założyć, że wynosi ona 1. Ewolucja wartości kapitału ludzkiego przebiega według następującego schematu:

$$\dot{h} = h\delta(1-u),$$

gdzie $\delta > 0$ jest maksymalną stopą wzrostu h.

Ponieważ nie przewidujemy w modelu akumulacji kapitału fizycznego, cały produkt przeznaczany jest na konsumpcję:

$$Y = C.$$

Zauważmy, że w konstruowanym modelu zanieczyszczenia nie kumulują się, nie występuje żadna zmienna informująca o stanie środowiska naturalnego, w jakim żyją gospodarstwa domowe. Zakładamy zatem, że zanieczyszczenia emitowane w danej chwili ulegają biodegradacji, a dysużyteczność płynie jedynie ze strumienia zanieczyszczeń emitowanych w danym momencie, a nie z tych emitowanych w okresach poprzednich. Wybór jest zatem następujący – albo podniesiemy wielkość produkcji, a tym samym teraźniejszą konsumpcję (co podniesie poziom satysfakcji społeczeństwa) oraz wielkość emitowanych zanieczyszczeń (co obniży czerpaną użyteczność), albo zdecydujemy się utrzymywać produkcję na niższym poziomie, co spowoduje niższy poziom konsumpcji, lecz da także zysk użyteczności płynący ze zmniejszenia emitowanych zanieczyszczeń. Ten wybór determinuje także ścieżkę wydobycia zasobów naturalnych, albowiem przy tak skonstruowanym procesie produkcji to R jest jedyną wielkością, która określa poziom uzyskanego produktu.

Nietrudno zauważyć, że model przybiera teraz postać:

$$\int_0^{+\infty} e^{-\rho t}\left(\frac{1}{1-\sigma}(Ab^{\alpha}R^{\alpha}(uhL)^{1-\alpha}h_a^{\gamma})^{1-\sigma} - \frac{1}{1+\kappa}P^{1+\kappa}\right)dt \to max,$$

[5] Analogicznie interpretują ten parametr Grimaud i Rouge (2005).

$$\dot{h} = h\delta(1-u),$$

$$\dot{S} = -R,$$

przy dodatkowym założeniu, że $h_a = h$ z zastrzeżeniami opisanymi już wcześniej. Gospodarstwa domowe maksymalizują zatem swoją użyteczność wybierając udział czasu u, jaki poświęcają na pracę produkcyjną, a także poziom wydobycia zasobów naturalnych R, co określa wielkość produkcji, a także konsumpcji. Zmienne h oraz S są zmiennymi stanu.

Następny podrozdział zawiera rozwiązanie tak skonstruowanego modelu oraz jego analizę.

5.3. Rozwiązanie modelu i analiza wyników

Hamiltonian dany jest wzorem

$$\begin{aligned}\mathbb{H}(u,R,h,S,\theta_1,\theta_2) &= \\ &= e^{-\rho t}\left(\frac{1}{1-\sigma}\left(Ab^{\alpha}R^{\alpha}(uhL)^{1-\alpha}h_a^{\gamma}\right)^{1-\sigma} - \frac{1}{1+\kappa}\eta^{1+\kappa}R^{1+\kappa}\right) + \\ &\qquad + \theta_1 h\delta(1-u) + \theta_2(-R).\end{aligned}$$

Warunki transwersalności mają zatem postać:

$$\lim_{t\to+\infty}\theta_1 h = 0,$$

$$\lim_{t\to+\infty}\theta_2 S = 0.$$

Warunki pierwszego rzędu dane są wzorami

$$\begin{aligned}&\frac{\partial\mathbb{H}}{\partial u} = 0 \Rightarrow \\ &\Rightarrow e^{-\rho t}\left(Ab^{\alpha}R^{\alpha}(uhL)^{1-\alpha}h_a^{\gamma}\right)^{-\sigma} Ab^{\alpha}R^{\alpha}(1-\alpha)u^{-\alpha}(hL)^{1-\alpha}h_a^{\gamma} - \theta_1 h\delta = 0,\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}&\frac{\partial\mathbb{H}}{\partial R} = 0 \Rightarrow \\ &\Rightarrow e^{-\rho t}\left(\left(Ab^{\alpha}R^{\alpha}(uhL)^{1-\alpha}h_a^{\gamma}\right)^{-\sigma} Ab^{\alpha}\alpha R^{\alpha-1}(uhL)^{1-\alpha}h_a^{\gamma} - \eta^{1+\kappa}R^{\kappa}\right) - \theta_2 = \\ &\qquad = 0,\end{aligned}$$

$$\frac{\partial \mathbb{H}}{\partial h} = -\dot{\theta}_1 \Rightarrow -\dot{\theta}_1 =$$
$$= e^{-\rho t}\left(Ab^{\alpha}R^{\alpha}(uhL)^{1-\alpha}h_a^{\gamma}\right)^{-\sigma} Ab^{\alpha}R^{\alpha}(1-\alpha)h^{-\alpha}(uL)^{1-\alpha}h_a^{\gamma} + \theta_1\delta(1-u),$$

$$\frac{\partial \mathbb{H}}{\partial S} = -\dot{\theta}_2 \Rightarrow -\dot{\theta}_2 = 0.$$

Definiujemy stan równowagi jako sytuację, w której wszystkie zmienne rosną według stałych stóp wzrostu. Jak zazwyczaj, oznacza to, że gospodarstwa domowe poświęcają na pracę stały udział swojego czasu. Oczekujemy, iż stopa wzrostu zużycia zasobów naturalnych będzie ujemna ze względu na wyczerpywalność tego czynnika produkcji – w innym przypadku niemożliwe będzie utrzymanie stałej stopy w nieskończonym horyzoncie czasowym. Oznacza to zatem, że gospodarstwa domowe powinny zużywać najwięcej zasobów naturalnych w momencie początkowym, a później wykładniczo zmniejszać wydobycie. Układ równań uzyskany z warunków pierwszego rzędu, wraz z uprzednio omówionymi równaniami ruchu dla zmiennych stanu (czyli dla h, S), przy uwzględnieniu faktów, że $h_a = h$ oraz $L = 1$, daje następujące rozwiązanie[6]:

$$g_R^* = g_P^* = g_S^* = -\frac{(\delta-\rho)(1-\alpha+\gamma)(1-\sigma)}{\alpha(1-\sigma)+((1-\alpha+\gamma)(1-\sigma)-1)(1+\kappa)},$$

$$g_h^* = \frac{[\alpha(1-\sigma)-(1+\kappa)](\delta-\rho)}{\alpha(1-\sigma)+((1-\alpha+\gamma)(1-\sigma)-1)(1+\kappa)},$$

$$u^* = 1 - \frac{1}{\delta}\frac{[\alpha(1-\sigma)-(1+\kappa)](\delta-\rho)}{\alpha(1-\sigma)+((1-\alpha+\gamma)(1-\sigma)-1)(1+\kappa)},$$

$$g_Y^* = g_C^* = \alpha \cdot g_R^* + (1-\alpha+\gamma)\cdot g_h^* =$$
$$= \frac{-(1+\kappa)(1-\alpha+\gamma)(\delta-\rho)}{\alpha(1-\sigma)+((1-\alpha+\gamma)(1-\sigma)-1)(1+\kappa)} = g_R^* \cdot \frac{1+\kappa}{1-\sigma}.$$

Warunki transwersalności sprowadzają się do nierówności postaci:

$$-\rho + (1-\sigma)g_Y^* < 0$$

i

$$g_R^* < 0,$$

[6] Uzyskanie tegoż rozwiązania wymaga dość skomplikowanych obliczeń, które dla wygody w niniejszej pracy pomijamy. Obliczenia są dostępne u autora na życzenie.

które są oczywiście spełnione, jeśli tylko $\sigma \geqslant 1$. Oczywiście wymagamy też, by $u \in [0;1]$. Ten warunek, w połączeniu z wymogiem ujemnej stopy wzrostu dla R, prowadzi do wniosku, iż $\sigma > 1$ oraz $\delta > \rho$. Oznacza to, że osiągnięcie stanu równowagi jest możliwe jedynie wtedy, gdy gospodarstwa domowe mają relatywnie dużą skłonność do wygładzania ścieżki konsumpcji. Konieczne jest też, by efektywność procesu uczenia się (mierzona parametrem δ) była wyższa od miary niecierpliwości gospodarstw domowych, jaką jest współczynnik dyskonta konsumpcji. Oznacza to bowiem względną opłacalność rozwijania zasobów kapitału ludzkiego. W innym przypadku bowiem gospodarstwa domowe ceniłyby wyżej konsumpcję teraźniejszą, a zatem odkładanie jej (czym jest przecież rezygnacja z części czasu przeznaczonego na produkcję na rzecz zwiększenia wielkości h, by powiększyć rozmiar produkcji w przyszłości) nie byłoby dla nich optymalne.

Przy tak wyznaczonych stopach wzrostu nietrudno jest policzyć początkowe wydobycie zasobów naturalnych. Aby w nieskończoności nastąpiło wyczerpanie złóż[7] musi zachodzić:

$$S(0) = \int_0^{+\infty} R dt = \int_0^{+\infty} R(0) e^{g_R^* t} dt \Rightarrow R(0) = -g_R^* S(0),$$

co pozwala wyznaczyć początkowe wydobycie złóż zasobów naturalnych, a tym samym określa wielkość kapitału fizycznego, która może być zasilona pozyskaną energią, a przez to także wyznacza rozmiar realizowanej produkcji i konsumpcji w momencie startowym.

Przy spełnionych wspomnianych warunkach nałożonych na parametry, podane wzory na stopy wzrostu gwarantują optymalność otrzymanego stanu równowagi. W tym stanie poszczególne zmienne zmieniają się według stałych stóp. Spróbujmy określić wrażliwość poszczególnych stóp na zmianę parametrów modelu. Tabela 5.1 określa znaki pochodnych stóp wzrostu ze względu na poszczególne parametry.

Analiza danych z tab. 5.1 prowadzi do następujących wniosków:

- Wraz ze wzrostem parametru δ, odzwierciedlającego efektywność procesu rozwoju kapitału ludzkiego, zwiększa się udział sił pracy kierowanych do sektora badawczo-rozwojowego (u maleje). Pozwala to także osiągnąć wyższą stopę wzrostu kapitału ludzkiego.

[7] Z jednej strony nieopłacalne jest wyczerpanie złóż wcześniej, w skończonym czasie, gdyż wówczas jeszcze nieskończenie długo gospodarka musiałaby sobie radzić z zerową produkcją i konsumpcją. Z drugiej strony nie ma sensu pozostawianie zasobów naturalnych po upływie nieskończonego czasu.

Tabela 5.1. Znaki odpowiednich pochodnych stóp zmian zmiennych po poszczególnych parametrach

	$x = \gamma$	$x = \delta$	$x = \rho$	$x = \sigma$	$x = \kappa$
$\frac{\partial g_R^*}{\partial x} = \frac{\partial g_S^*}{\partial x} = \frac{\partial g_P^*}{\partial x}$	< 0	< 0	> 0	< 0	> 0
$\frac{\partial g_h^*}{\partial x}$	> 0	> 0	< 0	< 0	< 0
$\frac{\partial u^*}{\partial x}$	< 0	< 0	> 0	> 0	> 0
$\frac{\partial g_Y^*}{\partial x} = \frac{\partial g_C^*}{\partial x}$	> 0	> 0	< 0	< 0	> 0

Źródło: obliczenia własne.

- W przypadku wyższej wartości parametru σ, który informuje o stopniu wygładzania ścieżki konsumpcji, mniej zasobów sił pracy jest kierowane do sektora rozwoju kapitału ludzkiego, a g_h jest mniejsza. Dzieje się tak, ponieważ przy wyższym σ gospodarstwa domowe czerpią większą użyteczność z bardziej płaskich ścieżek konsumpcji, a rozwój kapitału ludzkiego pozwala osiągnąć wyższe stopy wzrostu gospodarczego w przyszłości, co owocuje mniej płaską ścieżką C. Oczywiście obniża to także stopę zmian konsumpcji oraz zmniejsza poziom wydobycia zasobów naturalnych w chwili startowej i zmniejsza tempo spadku jego wydobycia w przyszłości.

- Dość standardowe efekty wywołuje zmiana stopy dyskonta ρ. Większa wartość tego parametru świadczy o wyższym znaczeniu konsumpcji teraźniejszej względem konsumpcji przyszłej. W takiej gospodarce ważniejsza jest wyższa wartość konsumpcji obecnie, co przejawia się w wyższym poziomie produkcji dzisiaj, a więc także w obniżeniu się stopy wzrostu gospodarczego. Powoduje to także większe zaangażowanie zasobów sił pracy w pracę produkcyjną (wzrost u), zamiast w prace badawczo-rozwojowe, objawiające się wzrostem kapitału ludzkiego.

- Wraz ze zmianą stopy dyskonta ρ zaczynają działać dwa efekty. Po pierwsze, gospodarstwa domowe wyżej cenią sobie konsumpcję teraźniejszą, a zatem produkcja w chwili obecnej wzrośnie, a zatem musi także wzrosnąć wydobycie zasobów naturalnych. Po drugie, obecna użyteczność czerpana z obecnego niskiego poziomu zanieczyszczeń także jest wyższa, a zatem należy zmniejszyć wydobycie zasobów naturalnych, by tym samym obniżyć emisję. Te dwa efekty działają łącznie, siła drugiego przy przyjętych założeniach jednak jest większa, a zatem ostatecznie gospodarka decyduje się obniżyć zużycie zasobów, a przez to także i emisję zanieczyszczeń, jednocześnie zmniejszając tempo wydobycia zasobów w przyszłości.

- Wyższa wartość parametru κ może być interpretowana jako większa dbałość gospodarstw domowych o stan środowiska naturalnego – taka sama ilość zanieczyszczeń generuje wyższą wartość dysużyteczności. We wcześniejszej analizie nie zostały na ten parametr nałożone dodatkowe ograniczenia. Jeżeli parametr ten rośnie, to rośnie także stopa zużycia zasobów naturalnych. Ponieważ stopa ta była ujemna, oznacza to, że zmniejsza się jej wartość bezwzględna. Nietrudno też zauważyć, że

  $$\kappa \to +\infty \Rightarrow g_R^* \to 0^-.$$

  Oznacza to oczywiście, że jeżeli mamy dwie gospodarki, różniące się jedynie wysokością parametru κ, to ta z nich, która ma wyższy ten parametr, decyduje się na mniejsze zużycie zasobów naturalnych dzisiaj (a zatem także na mniejszą liczbę zanieczyszczeń w okresie obecnym) oraz na wolniejsze zmniejszanie się wysokości wydobycia zasobów w przyszłości (a zatem na wyższą liczbę zanieczyszczeń w przyszłości). Ponieważ zasób S jest w obu przypadkach taki sam, zatem całkowita wysokość wygenerowanych we wszystkich momentach czasu zanieczyszczeń jest stała. Zróżnicowanie parametru κ, powiązane z dyskontem użyteczności, powoduje jedynie inne rozłożenie zanieczyszczeń w czasie.

- Zmniejszenie wydobycia zasobów naturalnych w bieżącym okresie prowadzi do zasilenia energią mniejszej ilości kapitału fizycznego, co bezpośrednio przekłada się na niższą produkcję. Aby temu zapobiec, gospodarstwa domowe decydują się na poświęcanie większej ilości swego czasu, nie przeznaczonego na odpoczynek, na pracę. To pozwala, przynajmniej częściowo, zrekompensować spadek wielkości produkcji. Efektem ubocznym jest jednak zmniejszenie tempa wzrostu kapitału

ludzkiego, a zatem także obniżenie tempa wzrostu TFP. Oba omówione efekty razem pozwalają uzyskać wyższą stopę wzrostu produkcji w czasie, kosztem jednak niższej produkcji w okresie obecnym. Nietrudno zauważyć, że efekty wpływu zmian pozostałych parametrów na poszczególne stopy wzrostu są dość intuicyjne i zgodne z teorią.

5.4. Podsumowanie i wnioski

Jednym z najczęściej krytykowanych założeń we współczesnej ekonomii jest założenie o maksymalizowaniu przez gospodarstwa domowe użyteczności płynącej z konsumpcji, a przez przedsiębiorstwa – maksymalizowaniu zysku. Jest rzeczą oczywistą, iż gospodarstwa domowe czerpią użyteczność nie tylko z konsumpcji pojmowanej jako zużywanie dóbr i usług, ale też z konsumpcji dobra, jakim jest piękno i czystość otaczającej przyrody[8]. Przy odmiennej wrażliwości na to dobro, dokonywane wybory są różne, co widać w niniejszej pracy.

Wraz ze zmianą wrażliwości społecznej na występujące w gospodarce zanieczyszczenia, zmieniają się wszystkie decyzje gospodarstw domowych, w szczególności te dotyczące podziału posiadanego czasu, niezużywanego na odpoczynek, pomiędzy pracę i akumulację kapitału ludzkiego. To ma oczywiste konsekwencje dla procesu postępu technicznego.

Przeprowadzone badanie zawiera wiele upraszczających założeń, skonstruowany model mógłby zatem zostać rozwinięty. Wydaje się, że najbardziej oczywiste może być uwzględnienie w modelu m.in. akumulacji kapitału fizycznego, jakości środowiska pogarszającej się przez emisję zanieczyszczeń, a także innych form postępu technicznego, aniżeli dokonywanego tylko poprzez wzrost zasobów kapitału ludzkiego.

W odróżnieniu od przedstawionego na początku niniejszego rozdziału modelu Grimauda i Rougé'a (2005), zaproponowana koncepcja w centrum zainteresowania stawia nie wzrost poziomu wiedzy, lecz akumulację kapitału ludzkiego. Nietrudno zauważyć, że matematycznie modele te są bardzo podobne, lecz ideowo się różnią. Model Grimauda i Rougé'a w ogóle nie uwzględnia kapitału fizycznego, zasoby naturalne są tam jawnie czynnikiem produkcji. Możliwe jest zatem rozbudowanie zaproponowanego modelu o procesy inwestycyjne uwzględniające efektywność energetyczną procesu spalania zasobów naturalnych. Wydaje się także, że wprowadzenie funkcji produkcji energii może być słusznym kolejnym krokiem badawczym.

[8] Oczywiście źródeł użyteczności jest dużo więcej, w niniejszej pracy skoncentrowaliśmy się jedynie na wymienionym.

Rozdział 6

Możliwości technologiczne a zużycie zasobów naturalnych

6.1. Wprowadzenie. Idea możliwości technologicznych

Opis procesu pojawiania się innowacji nie należy do najłatwiejszych, a konieczność uwzględnienia go w modelu długookresowego wzrostu gospodarczego dodatkowo zwiększa poziom trudności. Wydaje się, że niezbędne jest sięgnięcie do podstawowych teorii epistemologicznych opisujących proces powstawania nowej wiedzy. Pytaniem oczywiście jest, która z teorii powinna stanowić tutaj punkt odniesienia. W literaturze epistemologicznej dominują cztery podejścia: podejście Poppera, oparte na platońskiej myśli filozoficznej, podejście Kuhna polegające na idei paradygmatów myślowych, model Lakatosa programów badawczych, oraz model anarchizmu metodologicznego Feierabenda[1].

Idea możliwości technologicznych pochodzi od Olssona (2000, 2005), aczkolwiek już wcześniejsi autorzy zwracali uwagę, iż nowa wiedza powstaje raczej jako efekt łączenia ze sobą już istniejących teorii i na tej podstawie budowania nowych. Tym niemniej, do czasu wspomnianych prac głównymi metodami ujęcia postępu technicznego w modelach wzrostu gospodarczego były koncepcje oparte na idei kapitału ludzkiego (jak np. Lucas 1988)

[1] Opis tych koncepcji Czytelnik znaleźć może w wielu podręcznikach do epistemologii, np. w książce: Grobler (2006).

lub na idei wzrostu poziomu istniejącej wiedzy poprzez angażowanie części zasobów sił pracy w sektorze badawczo-rozwojowym (por. model Romera 1990). Nowopowstała koncepcja pozwala uwzględnić Kuhnowską (Kuhn 2012) koncepcję paradygmatów naukowych i pozostać w zgodzie, tym samym, z nowoczesną epistemologią.

Spróbujmy dokonać opisu koncepcji Olssona. Niech zatem zbiór $A \subset \mathbb{R}^k$ będzie zbiorem istniejących, znanych i rozpowszechnionych idei[2]. W zbiorze tym znajdziemy zatem idee absolutnie podstawowe (jak idea dodawania liczb naturalnych), jak też i bardzo złożone (np. mechanika kwantowa). Nowe idee powstają na trzy możliwe sposoby: jako odkrycia naukowe (*discoveries*), jako przełomowe wyniki badań naukowych o charakterze podstawowym (*radical innovations*) oraz jako regularne wyniki badań naukowych i prac badawczo-rozwojowych o charakterze stosowanym (*incremental innovations*)[3].

Powstawanie nowej wiedzy w formie regularnych wyników badań naukowych i prac B+R polega na wykorzystywaniu istniejących już idei i łączeniu ich, co prowadzi do utworzenia nowych idei. Przykładem takiego typu utworzenia nowej idei może być powstanie nowej aplikacji na telefony komórkowe, która to aplikacja korzysta z istniejącej już bazy hardware'owej, jaką jest telefon komórkowy, oraz z jego oprogramowania i pewnych schematów algorytmicznych, by otworzyć posiadaczom takiego telefonu nowe możliwości. Nie są to zatem, a przynajmniej nie muszą być, idee rewolucyjne, bowiem wykorzystują one istniejące rozwiązania, co bezpośrednio prowadzi do wniosku, że możliwe są tylko wtedy, gdy istnieją już wcześniej idee, które mogłyby do nich doprowadzić. Jeżeli zatem zbiór A jest zbiorem wszystkich idei, to nowa idea i_n powstaje jako wypukła kombinacja liniowa wcześniejszych idei i_p oraz i_r, czyli $i_n = \alpha \cdot i_p + (1 - \alpha) \cdot i_r$, gdzie $\alpha \in (0; 1)$. Oczywiście możliwe jest także łączenie w kombinacji wypukłej więcej niż dwóch istniejących idei. Wypukłość kombinacji wynika tutaj z faktu, iż nowe idee do pewne-

[2] Warto nadmienić przyczyny, dla których Olsson (2000) decyduje się na umieszczenie zbioru idei w przestrzeni euklidesowej. Każda z idei może być bowiem, jego zdaniem, opisana poprzez kilka-kilkanaście cech, które jednoznacznie ją określają, np. złożoność, fundamentalność, powszechność itp. Autor niniejszej pracy nie podziela akurat tej części pomysłu Olssona, aczkolwiek cała koncepcja możliwości technologicznych wydaje się być ciekawa i warta zastosowania.

[3] Bezpośrednie tłumaczenie angielskiego odpowiednika prowadzi do dziwnego polskiego określenia „innowacje przyrostowe". Trudno jest tutaj utworzyć odpowiednik, który mógłby w języku polskim funkcjonować. Z opisu Olssona wynika, że utożsamiać je można z badaniami stosowanymi, które właśnie nakierowane są nie tyle na powstawanie nowej wiedzy, co na wykorzystanie istniejącej. To pozwala utworzyć nowe idee, lecz bez istotnego poszerzania i zmiany istniejącego paradygmatu.

go stopnia czerpią po części z jednej, a po części z drugiej istniejącej idei. Większe zaangażowanie jednej z nich dawałoby oczywiście inny efekt[4]. Wypukłość kombinacji oznacza, że wszystkie nowe idee, bazujące na istniejącej wiedzy, wypełniają zbiór, jakim jest otoczka wypukła[5] zbioru A (oznaczana standardowo w literaturze matematycznej jako $\operatorname{conv} A$). Zbiór natomiast postaci $B = \operatorname{conv} A \setminus A$ nazywamy jest zbiorem możliwości technologicznych, zawiera on bowiem te wszystkie idee, które z racji istniejącego stanu wiedzy mogłyby być wynalezione, nie są jednakże jeszcze gotowe. W momencie, w którym pojawia się kolejna idea, będąca kombinacją wypukłą idei z istniejącego stanu wiedzy, zbiór możliwości technologicznych zostaje uszczuplony, a zbiór istniejącej wiedzy – odpowiednio powiększony. Oczywiście, gdyby zbiór możliwości technologicznych nie zwiększał się w żaden sposób, to w pewnym momencie wszystkie możliwe do wynalezienia idee zostałyby już wynalezione. Mechanizm pojawiania się nowych możliwości technologicznych oparty jest na pozostałych dwóch typach odkryć naukowych.

Kluczową rolę pełnią odkrycia naukowe, będące raczej przypadkowym, ubocznym efektem badań naukowych niż efektem świadomych, intencjonalnych badań. Oczywiście nie można wykluczyć tego, iż w istocie prowadzone są intencjonalne badania, których celem jest właśnie odkrycie naukowe, jednakże w koncepcji Olssona pojawienie się odkryć naukowych prowadzi do stworzenia nowego paradygmatu naukowego[6], a zatem w ramach istniejącego sposobu myślenia odkrycia te stanowią anomalię. Przykładami takich odkryć naukowych może być penicylina, odkryta przez Aleksandra Fleminga dzięki obserwacji pleśni. Odkrycia te znajdują się poza zbiorem A, w pewnej odległości od niego. Nie jest całkowicie jasne, przy istniejącym stanie wiedzy, jakie są ich przyczyny, lecz stanowią one w tym momencie inspirację do dalszych, tym razem już intencjonalnych badań, które nazwać by można w tym przypadku badaniami podstawowymi.

Istnienie leżących poza zbiorem A idei, będących efektem odkryć naukowych, rodzi możliwość prowadzenia badań, których rezultatem jest połączenie, w formie kombinacji wypukłej, idei ze zbioru A oraz odkrycia naukowe-

[4] Pytaniem bez odpowiedzi, przynajmniej u Olssona (2000), jest czy każda kombinacja wypukła każdej pary idei daje ideę sensowną, np. czy ma sens połączenie idei zimowych opon samochodowych (w udziale, powiedzmy, 0,98) oraz idei krzywej Phillipsa (w udziale 0,02). Autor niniejszej pracy uważa, że koncepcja Olssona dobrze oddaje proces powstawania idei wewnątrz konkretnej gałęzi nauki, np. matematyki, lub w gałęziach przecinających się. Dyskusja na temat tej koncepcji powinna jednak potoczyć się poza niniejszą monografią.

[5] Otoczka wypukła zbioru A to najmniejszy zbiór wypukły zawierający zbór A.

[6] Koncepcja paradygmatów naukowych pochodzi od Kuhna (2012).

go. Takie połączenie, będące efektem intencjonalnych badań, tworzy nową wiedzę, leżącą poza zbiorem A, powiększa tym samym zbiór A i jego otoczkę wypukłą, a w rezultacie powiększa także zbiór B. Te nowe badania mogą być prowadzone tak długo, aż samo odkrycie naukowe zostanie włączone do zbioru A i stanie się elementem ogólnego poziomu wiedzy społeczeństwa. Nowe odkrycie naukowe powoduje zatem utworzenie nowego paradygmatu naukowego, co z kolei otwiera nowe możliwości technologiczne. To prowadzi do powstawania nowych idei.

6.2. Możliwości technologiczne w modelu zasobów naturalnych i wzrostu gospodarczego

Koncepcja powyżej opisana, o ile wydaje się epistemologicznie interesująca, o tyle konkretne jej zastosowanie w teorii wzrostu gospodarczego nie jest już takie proste. W literaturze znaleźć można niewiele prób włączenia jej do standardowego modelu wzrostu. Chyba najbardziej udaną stanowi praca Growca i Schumachera (2013). Autorzy wykorzystują standardowy model wzrostu gospodarczego, w którym postęp techniczny generowany jest w nieklasyczny sposób – najpierw muszą zostać utworzone możliwości technologiczne, co dzieje się przy wykorzystaniu istniejącej wiedzy, dopiero w drugim kroku te możliwości technologiczne (uszczuplając tym samym swój zasób) przekuwane są na konkretne rozwiązania pozwalające powiększyć TFP. Autorzy dokonują przy tym analizy zarówno sytuacji gospodarki scentralizowanej (poprzez wprowadzenie planisty społecznego), jak i analizy gospodarki zdecentralizowanej, przy poszukiwaniu równowagi rynkowej. Wyniki w obu przypadkach są podobne. Oprócz tego analizują model przy pewnej parametryzacji i odnajdują takie wartości parametrów, przy których generuje on bifurkacje[7].

Trudniejsze jest jednak zastosowanie idei możliwości technologicznych w odniesieniu do problematyki zasobów naturalnych. Chyba jedyna tego typu próba znalazła się w pracy Lundström (2003), jednak, zdaniem autora niniejszej monografii, nie może być ona zaliczona do udanych i posiada wiele wad. Należy jednakże przyznać, że próba ta była koncepcyjnie słuszna.

Spróbujmy dokonać analizy gospodarki, w której umieścimy zarówno koncepcję możliwości technologicznych Olssona (2000), jak i koncepcję wykorzystywania i wyczerpywania zasobów naturalnych. Rozpatrywany model jest postaci następującej. Rozważamy, tradycyjnie, gospodarkę zamkniętą

[7] W języku polskim o zachowaniach chaotycznych w zastosowaniach ekonomicznych przeczytać można np. w pracach: Zawadzki (1996, 2006).

bez widocznego udziału rządu. W gospodarce tej występują gospodarstwa domowe, które dostarczają zasobów sił pracy w ilości L. L podlega wzrostowi o stałej stopie równej n. Mamy zatem

$$\dot{L} = nL.$$

Przyjmujemy też, że startowe wyposażenie gospodarki w zasoby sił pracy normujemy do jedności. Wszelki czas pracy, a zatem czas nie przeznaczony na odpoczynek, gospodarstwa domowe mogą poświęcić na jedną z trzech aktywności. Udział u_Y swojego czasu poświęcają zatem na pracę w sektorze produkcyjnym, udział u_A poświęcają na pracę badawczo-rozwojową w sektorze badań stosowanych, zaś udział u_B – na pracę badawczo-rozwojową w sektorze badań podstawowych. Oczywiście $u_Y + u_A + u_B = 1$.

Badania stosowane służą do wytworzenia nowej wiedzy i podwyższenia poziomu technologicznego stosowanego w procesie produkcyjnym. Jeśli zatem ten poziom zaawansowania technologicznego sektora produkcyjnego gospodarki oznaczymy przez A[8], to jego ewolucja przebiega następująco:

$$\dot{A} = \delta(u_A L)^\gamma B^\mu,$$

gdzie $\delta, \gamma, \mu > 0$ są pewnymi parametrami, B jest wielkością istniejących możliwości technologicznych[9].

Celem badań podstawowych jest wytworzenie nowych możliwości technologicznych, które stanowić będą podstawę nowych wynalazków. Istniejący do tej pory stan wiedzy technologicznej służy do poprawy efektywności badań podstawowych. Wykorzystane jednak w badaniach stosowanych możliwości technologiczne uszczuplają ich zasób. Ewolucja poziomu możliwości technologicznych, oznaczanych jako B, przebiega następująco:

$$\dot{B} = \zeta(u_B L)^\eta A^\mu - \delta(u_A L)^\gamma B^\mu,$$

gdzie $\zeta, \eta > 0$ są pewnymi parametrami[10]. Funkcja produkcji jest w modelowanej gospodarce następującej postaci:

$$Y = A^\sigma K^{\alpha\beta} R^{\alpha(1-\beta)} (u_Y L)^{1-\alpha},$$

gdzie $\sigma > 0$, $\alpha, \beta \in (0, 1)$, K stanowi zasób kapitału fizycznego, a R – strumień zasobów naturalnych wykorzystanych w procesie produkcyjnym.

[8] Można wielkość tę interpretować np. jako miarę zbioru istniejących idei.

[9] Można wielkość tę interpretować np. jako miarę zbioru możliwości technologicznych.

[10] Wydaje się dziwne, że wykładniki potęg przy A i B są jednakowe (wynoszą μ). Growiec, Schumacher (2013) wykazali jednak, że muszą one być równe.

Widać, że, podobnie jak w rozdziale drugim, przyjęliśmy istnienie pomiędzy kapitałem fizycznym a zasobami naturalnymi relacji typu Cobba-Douglasa, a zatem oba te czynniki produkcji są do pewnego stopnia komplementarne (nie może zabraknąć żadnego z nich), a do pewnego stopnia substytucyjne (niski nakład jednego z nich może być zrekompensowany wysokim nakładem drugiego).

Ewolucja kapitału przebiega standardowo:

$$\dot{K} = Y - C - dK,$$

gdzie C stanowi poziom konsumpcji, a $d > 0$ jest stopą deprecjacji kapitału. Gospodarka posiada złoża zasobów naturalnych w wysokości S, których systematycznie ubywa wraz z wykorzystywaniem w procesie produkcyjnym:

$$\dot{S} = -R.$$

Wielkość konsumpcji jest określana przez gospodarstwa domowe w taki sposób, by zmaksymalizować łączną zdyskontowaną użyteczność od chwili obecnej do nieskończoności:

$$L_0 \int_0^{+\infty} e^{-(\rho-n)t} \frac{1}{1-\theta}(c^{1-\theta} - 1)dt \to max,$$

gdzie $\rho > 0$ jest stopą dyskonta konsumpcji, $\theta > 0$ jest przeciwnością elastyczności użyteczności krańcowej i odpowiada za preferencje gospodarstw domowych związane z wygładzaniem ścieżki konsumpcji.

Przeliczając zmienne na jednostkę pracy, wprowadzamy $y = \frac{Y}{L}$, $k = \frac{K}{L}$, $r = \frac{R}{L}$, $s = \frac{S}{L}$, $c = \frac{C}{L}$. Wówczas, pamiętając, że $L = L_0 \cdot e^{nt}$ oraz że $L_0 = 1$, nasz model przybiera postać:

$$\int_0^{+\infty} e^{-(\rho-n)t} \frac{1}{1-\theta}(c^{1-\theta} - 1)dt \to max,$$

$$\dot{k} = A^{\sigma} k^{\alpha\beta} r^{\alpha(1-\beta)} (1 - u_A - u_B)^{1-\alpha} - c - (d+n)k,$$

$$\dot{A} = \delta u_A^{\gamma} e^{\gamma nt} B^{\mu},$$

$$\dot{B} = \zeta u_B^{\eta} e^{\eta nt} A^{\mu} - \delta u_A^{\gamma} e^{\gamma nt} B^{\mu},$$

$$\dot{s} = -r - ns.$$

Gopodarstwo domowe zatem wybiera poziom konsumpcji c, decyduje o zużyciu zasobów naturalnych r oraz o rozdziale sił pracy pomiędzy poszczególne sektory (u_Y, u_A, u_B). Zmiennymi stanu są w tym przypadku zmienne: k, A, B, s[11]

[11] Zauważyć należy, że szczególnym przypadkiem tak skonstruowanego modelu jest model Growca i Schumachera (2013). Wystarczy przyjąć $\beta = 1$, $u_A = u \cdot l_A$, $u_B = (1-u) \cdot l_A$, $u_Y = 1 - l_A$ oraz pominąć zasoby naturalne.

6.3. Rozwiązanie modelu i analiza wyników

Hamiltonian dany jest zatem wzorem

$$\begin{aligned}
&\mathbb{H}(u_A, u_B, r, c, A, B, s, k, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4) \\
&\qquad = e^{-(\rho-n)t}\frac{1}{1-\theta}(c^{1-\theta}-1) + \lambda_1(\delta u_A^{\gamma} e^{\gamma n t} B^{\mu}) \\
&\qquad + \lambda_2(\zeta u_B^{\eta} e^{\eta n t} A^{\mu} - \delta u_A^{\gamma} e^{\gamma n t} B^{\mu}) + \lambda_3(-r - ns) \\
&\qquad\qquad + \lambda_4(A^{\sigma} k^{\alpha\beta} r^{\alpha(1-\beta)}(1-u_A-u_B)^{1-\alpha} - c - (d+n)k).
\end{aligned}$$

Warunki transwersalności mają zatem postać:

$$\lim_{t\to+\infty} \lambda_1 A = 0,$$

$$\lim_{t\to+\infty} \lambda_2 B = 0,$$

$$\lim_{t\to+\infty} \lambda_3 s = 0,$$

$$\lim_{t\to+\infty} \lambda_4 k = 0.$$

Warunki pierwszego rzędu dane są wzorami

$$\frac{\partial \mathbb{H}}{\partial c} = 0 \Rightarrow e^{-(\rho-n)t} c^{-\theta} - \lambda_4 = 0,$$

$$\frac{\partial \mathbb{H}}{\partial r} = 0 \Rightarrow -\lambda_3 + \lambda_4 \alpha(1-\beta) A^{\sigma} k^{\alpha\beta} r^{\alpha(1-\beta)-1}(1-u_A-u_B)^{(1-\alpha)} = 0,$$

$$\begin{aligned}
&\frac{\partial \mathbb{H}}{\partial u_A} = 0 \Rightarrow \lambda_1 \delta\gamma u_A^{\gamma-1} e^{\gamma n t} B^{\mu} - \\
&- \lambda_2 \delta\gamma u_A^{\gamma-1} e^{\gamma n t} B^{\mu} - \lambda_4(1-\alpha) A^{\sigma} k^{\alpha\beta} r^{\alpha(1-\beta)}(1-u_A-u_B)^{(1-\alpha)-1} = 0,
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\frac{\partial \mathbb{H}}{\partial u_B} = 0 \Rightarrow \lambda_2 \zeta\eta u_B^{\eta-1} e^{\eta n t} A^{\mu} - \\
&\qquad - \lambda_4(1-\alpha) A^{\sigma} k^{\alpha\beta} r^{\alpha(1-\beta)}(1-u_A-u_B)^{(1-\alpha)-1} = 0,
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\frac{\partial \mathbb{H}}{\partial A} = -\dot{\lambda}_1 \Rightarrow -\dot{\lambda}_1 = \lambda_2 \zeta\mu u_B^{\eta} e^{\eta n t} A^{\mu-1} + \\
&\qquad + \lambda_4 \sigma A^{\sigma-1} k^{\alpha\beta} r^{\alpha(1-\beta)}(1-u_A-u_B)^{(1-\alpha)},
\end{aligned}$$

$$\frac{\partial \mathbb{H}}{\partial B} = -\dot{\lambda}_2 \Rightarrow -\dot{\lambda}_2 = \lambda_1 \delta \mu u_A^{\gamma} e^{\gamma n t} B^{\mu-1} - \lambda_2 \delta \mu u_A^{\gamma} e^{\gamma n t} B^{\mu-1},$$

$$\frac{\partial \mathbb{H}}{\partial s} = -\dot{\lambda}_3 \Rightarrow -\dot{\lambda}_3 = -\lambda_3 n,$$

$$\frac{\partial \mathbb{H}}{\partial k} = -\dot{\lambda}_4 \Rightarrow -\dot{\lambda}_4 = \lambda_4(\alpha\beta A^{\sigma} k^{\alpha\beta-1} r^{\alpha(1-\beta)}(1-u_A-u_B)^{1-\alpha} - (d+n)).$$

Definiujemy stan równowagi w standardowy sposób, tj. jako ścieżkę, na której stopy wzrostu wszystkich podstawowych wielkości są stałe w czasie. Oznaczmy przez g_X tę właśnie równowagową stopę wzrostu zmiennej X, a przez u_A^*, u_B^* i u_Y^* – udziały zasobów sił pracy, które w warunkach równowagi gospodarstwa domowe zdecydowały się poświęcić na pracę w poszczególnych sektorach. Analizę rozpoczniemy od równań ruchu dla A i B. Dostajemy:

$$\frac{\dot{A}}{A} = \frac{\delta u_A^{\gamma} e^{\gamma n t} B^{\mu}}{A} \Rightarrow g_A = \frac{\delta u_A^{*\gamma} e^{\gamma n t} B^{\mu}}{A} \Rightarrow 0 = \gamma n + \mu g_B - g_A$$

oraz

$$\frac{\dot{B}}{B} = \frac{\zeta u_B^{\eta} e^{\eta n t} A^{\mu}}{B} - \delta u_A^{\gamma} e^{\gamma n t} B^{\mu-1} \Rightarrow g_B = \frac{\zeta u_B^{*\eta} e^{\eta n t} A^{\mu}}{B} - \delta u_A^{*\gamma} e^{\gamma n t} B^{\mu-1}.$$

Z ostatniego równania wynika dość prosto, że

$$\eta n + \mu g_A - g_B = 0$$

oraz

$$\gamma n + (\mu - 1) g_B = 0.$$

Dalej mamy, że

$$g_B = \frac{\gamma n}{1-\mu}$$

i że w takim razie

$$g_A = \gamma n + \mu \frac{\gamma n}{1-\mu} = \gamma n \frac{1-\mu}{1-\mu} + \gamma n \frac{\mu}{1-\mu} = \frac{\gamma n}{1-\mu} = g_B.$$

Jednocześnie:

$$g_A = \frac{\gamma n}{1-\mu} = \frac{1}{\mu}\frac{\gamma n}{1-\mu} - \frac{1}{\mu}\eta n \Rightarrow \eta = \gamma(\frac{1}{1-\mu} - \frac{\mu}{1-\mu}) = \gamma,$$

a zatem $\eta = \gamma$. Jednostka pracy ma zatem jednakową elastyczność w obu sektorach[12].

[12] Growiec i Schumacher (2013) dochodzą do identycznego wniosku.

Seria przekształceń pozwala uzyskać następujące wzory na równowagowe stopy wzrostu zmiennych[13]:

$$g_y = g_c = g_k = \frac{\sigma \frac{\gamma n}{1-\mu} - \alpha(1-\beta)\rho}{1-\alpha+\alpha\theta(1-\beta)} > 0,$$

$$g_s = g_r = (1-\theta)\frac{\sigma \frac{\gamma n}{1-\mu} - \alpha(1-\beta)\rho}{1-\alpha+\alpha\theta(1-\beta)} - \rho < 0,$$

$$g_A = g_B = \frac{\gamma n}{1-\mu},$$

a także następujące relacje pomiędzy równowagowymi udziałami sił pracy kierowanymi do poszczególnych sektorów:

$$(\frac{u_A^*}{u_B^*})^\gamma = \frac{\zeta}{\delta}\frac{A}{A+B}\frac{A^\mu}{B^\mu},$$

$$u_Y^* = 1 - u_A^* - u_B^*,$$

$$\mu\frac{u_A^*}{u_B^*} + \mu\frac{A}{A+B} - \frac{B}{A+B}\mu\frac{u_B^*}{u_A^*} = \frac{B}{A+B}\gamma\frac{\sigma}{(1-\alpha)}\frac{1-u_A^*-u_B^*}{u_A^*}.$$

Zauważmy, że ponieważ $g_A = g_B$, to relacje $\frac{A}{B}$ oraz $\frac{A}{A+B}$ są stałe w czasie. To oczywiście pozwala upewnić się, że udziały zasobów sił pracy kierowane do poszczególnych sektorów są stałe[14]. Oczywiście stopa zmian strumienia zasobów użytkowanego w procesie produkcyjnym jest ujemna. Wszystkie cztery warunki transwersalności sprowadzają się do jednej nierówności:

$$-\rho + n + (1-\theta)g_y < 0.$$

Dokonajmy analizy wpływu zmian wartości poszczególnych parametrów na wysokość stóp wzrostu. Tabela 6.1 przedstawia znaki odpowiednich pochodnych. Na podstawie otrzymanych rezultatów można wysnuć następujące wnioski:

[13] Obliczenia te, które zajęły zbyt dużo miejsca, są dostępne u autora niniejszej pracy na życzenie.

[14] Wyznaczenie udziałów sił pracy kierowanych do poszczególnych sektorów jest oczywiście możliwe, aczkolwiek matematycznie złożone. W niniejszej pracy pominięte są skomplikowane wzory na u_A^*, u_B^* i u_Y^*, dostępne są one u autora na życzenie.

Tabela 6.1. Znaki odpowiednich pochodnych (przy założeniu $\theta > 1$)

	$x = \rho$	$x = \sigma$	$x = \gamma$	$x = n$	$x = \mu$	$x = \theta$
$\frac{\partial g_y}{\partial x} = \frac{\partial g_k}{\partial x} = \frac{\partial g_c}{\partial x}$	< 0	> 0	> 0	> 0	> 0	< 0
$\frac{\partial g_r}{\partial x} = \frac{\partial g_s}{\partial x}$	< 0	< 0	< 0	< 0	< 0	< 0
$\frac{\partial g_A}{\partial x} = \frac{\partial g_B}{\partial x}$	$= 0$	$= 0$	> 0	> 0	> 0	$= 0$

Źródło: obliczenia własne.

- Wzrost stopy dyskonta powoduje zmianę dokonywanej przez gospodarstwa domowe wyceny konsumpcji teraźniejszej względem konsumpcji przyszłej. Jeżeli zatem mamy dwie identyczne gospodarki, różniące się jedynie wielkością parametru ρ, to w tej spośród nich, w której jest on wyższy, stopa wzrostu produkcji na jednostkę pracy jest niższa, zasoby naturalne natomiast użytkowane są w szybszym tempie. Jest to spowodowane wyższą wartością, jaką te gospodarstwa domowe przypisują konsumpcji dzisiejszej. Maksymalizacja użyteczności w ich przypadku oznacza zatem przesunięcie produkcji z przyszłości na teraźniejszość. To oczywiście oznacza także obniżenie tempa akumulacji kapitału, a zatem zmniejszenie inwestycji. Stopy zmian poziomu technologicznego są niezależne od stopy dyskonta konsumpcji.

- Parametr σ informuje o sile wpływu istniejącego stanu wiedzy technologicznej na poziom produkcji. W przypadku, gdy parametr ten przyjmuje wyższe wartości jednakowy nakład czynników produkcji oraz jednakowy poziom wiedzy daje wyższy produkt. Podniesienie się tego parametru owocuje podwyższeniem się stopy wzrostu produkcji na jednostkę pracy oraz większą intensywnością użytkowania zasobów naturalnych. Nie ma to jednak wpływu na stopę wzrostu wiedzy, efekt wpływu zmiany parametru σ na zmienną stanu A jest efektem poziomu, a nie stopy wzrostu.

- Parametr γ stanowi elastyczność przyrostu wiedzy ze względu na zmianę zaangażowania zasobów sił pracy. Jeżeli zatem większa ilość sił pra-

cy zostanie skierowana do sektorów zajmujących się badaniami, czy to podstawowymi czy też stosowanymi, to w gospodarce, w której parametr γ jest większy, nastąpi większy wzrost A. Jeżeli mamy zatem dwie identyczne gospodarki, różniące się jedynie wielkością tego parametru, to w tej z nich, w której jest on wyższy, występują wyższe stopy wzrostu produkcji na jednostkę pracy, wyższa intensywność wykorzystania zasobów naturalnych oraz wyższe tempo wzrostu wiedzy i, jednocześnie, możliwości technologicznych. W odróżnieniu zatem od parametru σ parametr γ ma zatem na A i B wpływ nie w wysokości poziomu, lecz stopy wzrostu.

- Wzrost stopy zmian zasobów sił pracy n, a zatem szybszy przyrost zasobów sił pracy ma przede wszystkim wpływ na stopę wzrostu wiedzy i możliwości technologicznych, a przez A i B – wpływ na stopę wzrostu produktu na jednostkę pracy i wpływ na podwyższenie intensywności wykorzystania zasobów naturalnych.

- Parametr μ odpowiedzialny jest za efektywność wykorzystania możliwości technologicznych w kreowaniu nowej wiedzy użytkowanej w procesie produkcyjnym oraz za efektywność wykorzystania tejże wiedzy w zwiększaniu możliwości technologicznych. Wzrost zatem tego parametru podnosi tempo wzrostu A i B, a poprzez to – tempo wzrostu produkcji na jednostkę pracy. Podwyższa to także tempo wykorzystania zasobów naturalnych.

- Parametr θ odpowiedzialny jest za preferencje konsumentów związane z wygładzaniem ścieżki konsumpcji. Aby ścieżka ta była dostatecznie gładka, parametr ten powinien przyjąć wartości wyższe od 1. Wówczas wymóg silniejszego wygładzenia ścieżki prowadzi oczywiście do obniżenia się stopy wzrostu produkcji na jednostkę pracy, w granicy (przy $\theta \to +\infty$) daje zerową stopę g_y. Pojawia się także konieczność zwiększenia nakładów zasobów naturalnych w procesie produkcyjnym dziś oraz zwiększenie intensywności wykorzystania zasobów w przyszłości. Parametr θ nie ma wpływu na tempo wzrostu wiedzy, a zatem w dwóch identycznych gospodarkach, różniących się jedynie wysokością tego parametru, tempo rozwoju technologicznego jest jednakowe.

Zauważmy, że wzrost któregokolwiek parametru identyfikowanego z poprawą efektywności wykorzystania wiedzy, bądź to w badaniach naukowych, bądź w procesie produkcyjnym, wiąże się ze zwiększeniem intensywności wykorzystania zasobów naturalnych. Na przykład w tej gospodarce, w której

elastyczność produkcji względem poziomu wiedzy jest większa, zasoby naturalne w momencie startowym wykorzystywane są w większej ilości, a ich łączny zasób maleje szybciej. W rezultacie szybciej osiąga on wartości bardzo niskie, powodując pozostawienie jedynie śladowej ilości zasobu w gospodarce. Jest to spowodowane istnieniem substytucyjności pomiędzy kapitałem fizycznym a zasobami naturalnymi. Wraz z poprawą jakości użytkowania zasobu wiedzy rośnie też wysokość produkcji dziś, jak też i w przyszłości. To, wraz ze zwiększeniem nakładów zasobów naturalnych, pozwala gospodarce osiągnąć wyższy poziom inwestycji w kapitał fizyczny, co pozwala szybko uzyskać wyższy jego poziom. To z kolei pozwala gospodarce zastąpić, poprzez substytucję, niski strumień użytkowanych zasobów naturalnych przez wysoki zasób kapitału fizycznego.

6.4. Podsumowanie i wnioski

Koncepcja możliwości technologicznych, zaproponowana przez Olssona (2000), otwiera dość interesujące kierunki badawcze w teorii wzrostu gospodarczego. Teoria wzrostu endogenicznego, wzbogacona o tę ideę, prowadzi co prawda do modeli bardziej złożonych matematycznie, a przez to także i trudniejszych w szczegółowej analizie, ale za to mających wiele ciekawych konsekwencji. Pierwsza próba ujęcia koncepcji Olssona w modelu wzrostu gospodarczego z zasobami naturalnymi, zaproponowana przez Lundström (2003), nie może być zaliczona do satysfakcjonujących, albowiem w modelowanej gospodarce zasoby naturalne nie stanowiły czynnika produkcji, lecz cel działalności wytwórczej oraz źródło bezpośrednich dochodów. Z drugiej strony, próba modelowania gospodarki podjęta w pracy Growca i Schumachera (2013) objęła koncepcję możliwości technologicznych, lecz nie uwzględniała zasobów naturalnych.

Próba modelowania gospodarki wyposażonej w zasoby naturalne w modelu długookresowego wzrostu gospodarczego, uwzględniająca koncepcję możliwości technologicznych, podjęta w niniejszej pracy nie powinna być traktowana jako ostateczna. Nietrudno zauważyć, zwłaszcza w kontekście całej niniejszej monografii, iż bezpośrednia wymienność kapitału fizycznego i naturalnego (tu objawiającego się poprzez strumień użytkowanych w procesie produkcyjnym zasobów naturalnych) jest najsłabszym punktem opisanego modelu. Kolejne badania powinny być nakierowane na gospodarkę, w której zasoby naturalne stanowią czynnik produkcji komplementarny do kapitału fizycznego, a nawet stanowiący czynnik produkcji tegoż kapitału. Taka analiza jednakże przekroczyłaby objętość niniejszej pracy.

Zakończenie i podsumowanie

Zaprezentowane w niniejszej monografii badania, prowadzone w latach 2010–2013, prowadzone były przy użyciu klasycznych, stosowanych w literaturze tematu narzędzi. Konstruowane modele wzrostu gospodarczego, wykorzystujące metody optymalizacji dynamicznej, skoncentrowane były naokoło zagadnienia relacji pomiędzy postępem technicznym, zasobami naturalnymi a wzrostem gospodarczym.

Badania polegały na konstrukcji nowych oraz rozbudowie istniejących modeli endogenicznego wzrostu gospodarczego. Modele zawarte w niniejszej pracy stanowią (z wyjątkiem modelu z rozdziału pierwszego, który stanowi oryginalną konstrukcję) rozszerzenie istniejących modeli endogenicznego wzrostu gospodarczego o problematykę wydobycia i wykorzystania zasobów naturalnych w procesach produkcyjnych, co pozwala dokonywać analizy wpływu postępu technicznego na rozmiar zużycia tychże zasobów. Rozszerzenia te stanowią efekt indywidualnej pracy autora niniejszej monografii i jego wkład w literaturę ekonomiki zasobów naturalnych. Z przeprowadzonych na serii skonstruowanych modeli badań wysnuć można następujące wnioski:

- W konstruowanych modelach stopy zmian poszczególnych zmiennych przyjmują przewidywane wartości. I tak, stopa wzrostu gospodarczego jest dodatnia i uzależniona od tempa postępu technicznego, jakkolwiek ów postęp nie byłby w danym modelu ujęty. Stopa zużycia zasobów naturalnych jest ujemna, co oznacza, że użytkowany w procesie produkcyjnym strumień zasobów maleje wykładniczo w czasie. W identyczny sposób w takim samym tempie zmienia się wielkość istniejących złóż zasobów naturalnych.

- Stopa dyskonta konsumpcji informuje o tym, w jaki sposób gospodarstwa domowe wyceniają konsumpcję przyszłą względem konsumpcji teraźniejszej. W zależności od ujęcia, jej wielkość może być interpretowana jako stopień altruizmu obecnej generacji, skłonność do

oszczędzania itp. Wzrost tej stopy powoduje, że konsumpcja teraźniejsza staje się cenniejsza w stosunku do konsumpcji przyszłej, a zatem gospodarstwa domowe są mniej skłonne do odkładania konsumpcji w czasie. Ich decyzje prowadzić będą do zwiększenia produkcji bieżącej kosztem produkcji przyszłej. Takie gospodarstwa domowe są zatem mniej skłonne do oszczędzania i akumulacji kapitału fizycznego i ludzkiego. Aby więcej wyprodukować w chwili obecnej, gospodarka musi zwiększyć zużycie zasobów naturalnych. Większy strumień użytkowanych zasobów naturalnych musi powodować mniejszy jego strumień w przyszłości, a zatem w takim przypadku tempo spadku zużycia zasobów naturalnych w procesie produkcyjnym, czy to w produkcji energii, czy też w bezpośredniej produkcji finalnej, musi wzrosnąć co do wartości bezwzględnej.

- Odmienny efekt wpływu wzrostu stopy dyskonta na wydobycie zasobów naturalnych może mieć miejsce jedynie wtedy, gdy gospodarstwa domowe czerpią dysużyteczność z zanieczyszczeń środowiska generowanych przez spalanie zasobów naturalnych. Wówczas ścierają się dwa efekty – z jednej strony chęć podniesienia użyteczności dzięki zwiększeniu bieżącej produkcji i konsumpcji poprzez zużycie większej ilości zasobów naturalnych, z drugiej – chęć podniesienia użyteczności dzięki zmniejszeniu wysokości generowanych zanieczyszczeń poprzez ograniczenie spalania zasobów. To, który z tych efektów ostatecznie przeważy, zależy od względnej wrażliwości użyteczności gospodarstw domowych na jej poszczególne składowe – czy kolejna jednostka zużytego zasobu naturalnego przyniesie więcej użyteczności dzięki konsumpcji dodatkowego dobra wytworzonego przy jej udziale, czy też przyniesie więcej dysużyteczności przez zwiększenie zanieczyszczenia środowiska o wielkość emisji wytworzonej przy udziale dodatkowej jednostki zasobu.

- Substytucyjność kapitału fizycznego i zasobów naturalnych, najczęściej przyjmowana w modelach wzrostu gospodarczego, rodzi dość trudną do zaakceptowania konsekwencję. Oczywiście, jeśli w istocie kapitał fizyczny i zasoby naturalne stanowią w procesie produkcyjnym substytucyjne czynniki produkcji, to wyczerpywalność tych drugich może być rekompensowana przez odpowiedni duży zasób kapitału fizycznego. Racjonalnie myślące gospodarstwa domowe skłaniają się jednak do jak najszybszego wyczerpania zasobów naturalnych po to, by dzięki temu odpowiednio podwyższyć obecną produkcję i w krótkim czasie zakumulować wystarczająco dużo kapitału fizycznego, by wyeli-

minować zupełnie zasoby naturalne z procesu produkcyjnego. Wówczas jedynie ewentualna niezbędność zasobów naturalnych (poprzez funkcję produkcji typu Cobba-Douglasa) każe zachować jakiekolwiek ich złoża. Efekt ten nie powinien mieć miejsca w przypadku, gdyby te czynniki produkcji były komplementarne.

- Analiza niektórych przeprowadzonych badań pozwala wnioskować, że istnieje możliwość zmiany formy relacji pomiędzy zasobami naturalnymi a kapitałem fizycznym dzięki postępowi technicznemu. Jeżeli kapitał fizyczny i zasoby naturalne są do pewnego stopnia komplementarne i do pewnego stopnia substytucyjne, to odkrycia badawcze mogą pozwolić kapitałowi fizycznemu przejąć pewne własności zasobów naturalnych i tym samym zmniejszyć ich niezbędność, zmienić formę relacji pomiędzy tymi czynnikami produkcji bądź w inny sposób rozwiązać problem komplementarności. Nie jest jednak jasne, w jaki sposób miałoby to następować.

- Skłonność gospodarstw domowych do wygładzania ścieżki konsumpcji, mierzona elastycznością użyteczności krańcowej, informuje o preferencjach gospodarstw domowych związanych z poziomem konsumpcji. W zależności od stopnia tej skłonności, gospodarstwa domowe mogą preferować albo ścieżki bardzo płaskie (czyli o jednakowym lub prawie jednakowym poziomie konsumpcji we wszystkich okresach) albo bardzo nachylone (czyli o bardzo wysokim wzroście konsumpcji w czasie). Z przeprowadzonych analiz wynika, że wzrost parametru, który mierzy wspomnianą skłonność do wygładzania konsumpcji, powoduje, że stopa wzrostu gospodarczego obniża się. Gospodarstwa domowe bowiem chcą utrzymać jednakowy poziom konsumpcji, a zatem także i jednakowy poziom inwestycji w kapitał fizyczny. Aby to było możliwe, startowy poziom produkcji musi być jednak odpowiednio wysoki, a zatem wymaga to zwiększenia zużycia zasobów naturalnych w chwili początkowej oraz szybkie redukowanie poziomu posiadanych złóż. Efekt ten znów jest konsekwencją substytucyjności czynników produkcji. Gdyby jednak czynniki te były komplementarne, to należałoby oczekiwać wyczerpania się złóż w skończonym czasie (poprzez konieczność zużywania ich na poziomie proporcjonalnym do użytkowania kapitału fizycznego).

- Na efektywność akumulacji kapitału ludzkiego składają się wszystkie elementy, które wspomagają procesy uczenia się i zdobywania nowej wiedzy przez gospodarstwa domowe (infrastruktura, uwarunkowania

prawne, techniczne itp.). Podwyższenie się zatem tej efektywności ma bezpośredni wpływ na tempo postępu technicznego, na tempo wzrostu kapitału ludzkiego, a także na tempo wzrostu gospodarczego. Poprzez zwiększenie kapitału ludzkiego uzyskujemy wyższy poziom produkcji. Dodatkowo, rośnie nakład zasobów naturalnych, co jeszcze bardziej zwiększa rozmiary produkcji. To pozwala uzyskać wyższy poziom inwestycji i wyższy poziom kapitału fizycznego, który pozwala zrekompensować w przyszłości niedostatek zasobów naturalnych. Jest to oczywiście możliwe jedynie dzięki substytucyjności kapitału fizycznego i naturalnego.

- Zmiana łącznej produktywności czynników produkcji wpływa na wielkość produkcji. Wzrost TFP lub wzrost tempa wzrostu TFP prowadzi do identycznych efektów jak wzrost efektywności akumulacji kapitału ludzkiego. Substytucyjność czynników produkcji prowadzi do wzrostu wykorzystania zasobów naturalnych w okresie początkowym w celu uzyskania wyższego zasobu kapitału fizycznego.

- Z analizy danych empirycznych wynika, że zasoby naturalne, bedące głównym źródłem energii w procesach produkcyjnych, wykorzystywane są głównie w akumulacji kapitału fizycznego jako czynnik produkcji kapitału substytucyjny do nakładów inwestycyjnych. Zmiana jednak udziału zasobów naturalnych w procesie tworzenia nowych dóbr kapitałowych nie ma wpływu na poziom i tempo ich zużycia, jedynie na stopę wzrostu kapitału fizycznego i stopę wzrostu gospodarczego. Wydaje się, że dzieje się tak dlatego, iż w procesie produkcji nowego kapitału zasoby te stanowią czynnik produkcji substytucyjny (choć niezbędny w produkcji) do nakładów inwestycyjnych, a zatem niski nakład tych zasobów może być zrekompensowany wyższym poziomem inwestycji. Wyższy poziom inwestycji natomiast można osiągnąć dzięki podniesieniu poziomu produkcji, do czego przyczynić się może wyższy poziom kapitału fizycznego.

- Zanieczyszczenia ze spalania zasobów energetycznych stanowią efekt zewnętrzny procesu produkcyjnego. Jeżeli gospodarstwa domowe czerpią dysużyteczność z generowanych zanieczyszczeń, to stanowi to naturalny bodziec do zmniejszania zużycia zasobów naturalnych. W badanym modelu łączna ilość generowanych zanieczyszczeń była stała (każda jednostka zasobów generowała stałą ilość zanieczyszczeń), jedynym wyborem gospodarstw domowych było rozmieszczenie ich w czasie. Z drugiej strony czerpanie użyteczności z konsumpcji zachęca

do zwiększania zużycia zasobów. Równowaga osiągana jest dzięki porównaniu krańcowych użyteczności czerpanych ze wzrostu konsumpcji i spadku zanieczyszczeń przy użyciu dodatkowej jednostki zasobów. Wprowadzenie jednak tego efektu zewnętrznego nie zmienia zasadniczych wyników uzyskiwanych w tej klasie modeli.

- Zastosowanie idei możliwości technologicznych do opisu procesu postępu technicznego i rozwoju wiedzy w modelu długookresowego endogenicznego wzrostu gospodarczego nie zmienia zasadniczych wyników generowanych przez prezentowane modele. Korzyść z zastosowania tego podejścia polega na uzyskaniu dokładniejszego opisu prac sektora badawczo-rozwojowego. W przypadku jednak koncepcji możliwości technologicznych mnoży się liczba sposobów, w jaki można zwiększyć tempo postępu technicznego – poprzez zwiększenie efektywności zasobów sił pracy w poszczególnych typach działalności badawczych, poprzez zwiększenie efektywności wykorzystania samej wiedzy w tychże działalnościach, bądź przez wzrost łącznej produktywności czynników produkcji wiedzy. Jednakże każda z tych metod wzrostu tempa postępu technicznego ma w analizowanym modelu taki sam kierunek wpływu na poszczególne stopy zmian podstawowych zmiennych. Substytucyjność zasobów naturalnych i kapitału fizycznego prowadzi znów do zwiększenia intensywności wykorzystania zasobów naturalnych i zwiększenia tempa akumulacji kapitału fizycznego.

- Podział zasobów sił pracy pomiędzy pracę produkcyjną a pracę w sektorze badawczo-rozwojowym zmienia się w zależności od wysokości poszczególnych parametrów. Zwiększenie efektywności akumulacji kapitału ludzkiego lub zwiększenie efektywności wykorzystania zasobów sił pracy w działalności badawczo-rozwojowej zwiększa udział czasu kierowany do prac badawczych.

Przeprowadzone badania mogą być poprawione i rozwinięte. Główne kierunki dalszych badań są następujące. Po pierwsze, niezbędne jest rozważanie gospodarki, w której zasoby naturalne i kapitał fizyczny są względem siebie dobrami komplementarnymi, co osiągnąć można poprzez wymóg zasilania kapitału fizycznego energią pochodzącą ze spalania zasobów naturalnych. Po drugie, efekty zewnętrzne, jakimi są generowane zanieczyszczenia i pogarszanie się stanu środowiska naturalnego wraz z możliwością ponoszenia nakładów na jego odnawianie, stanowią bodziec do oszczędzania zasobów naturalnych. Analiza jego wpływu na zachowania gospodarstw domowych wydaje się tu być konieczna. Po trzecie, kierunek wyznaczony przez pra-

ce Pérez-Barahony (2011), czyli uwzględnienie intensywności energetycznej procesu akumulacji kapitału, należy rozszerzyć o komplementarność zasobów naturalnych i nakładów inwestycyjnych. Po czwarte, idea *backstop technology*, wspomniana jedynie w niniejszej monografii, polegająca na konieczności m.in. akumulacji kapitału fizycznego, który umożliwiłby wykorzystanie nowej technologii, wymaga zastosowania narzędzi bardziej krótkookresowych. Autor spodziewa się uzyskać tu efekty zgodne z ideą realnego cyklu koniunkturalnego. Wreszcie, po piąte, zaprezentowane podejście do koncepcji możliwości technologicznych abstrahuje od odkryć naukowych, których natura jest raczej nieprzewidywalna, losowa z punktu widzenia istniejącego paradygmatu. Uwzględnienie tego faktu także może prowadzić do ciekawych konkluzji.

Nakreślone kierunki dalszych badań nie wyczerpują oczywiście wszystkich możliwości. Czytelnik także jest zachęcany do samodzielnych przemysleń nad poruszonymi zagadnieniami. Problematyka ekonomiki zasobów naturalnych bowiem, jak to już było kilkukrotnie wspomniane w niniejszej monografii, jest tak szeroka, iż każdy z tematów badawczych wymaga dość dogłębnego opracowania. Tematyka wzrostu zrównoważonego, z którą zagadnienia wyczerpywania zasobów naturalnych są związane, stanowi bowiem od pewnego czasu jeden z głównych tematów badań teoretyków wzrostu gospodarczego, a mnogość niezbadanych obszarów wiedzy jest wciąż jeszcze olbrzymia.

Bibliografia

Aghion, P., Howitt, P. (1992), *A model of growth through creative destruction*, „Econometrica", vol. 60, 323–351.

Aghion, P., Howitt, P. (1998), *Endogenous growth theory*, The MIT Press, Cambridge.

Ahrens, W., Sharma, V. (1997), *Trends in natural resource commodity prices: deterministic or stochastic?*, „Journal of Environmental Economics and Management" vol. 33, no. 1, 59–74.

Asheim, G. B. (1994), *Net national product as an indicator of sustainability*, „The Scandinavian Journal of Economics", vol. 96, no. 2, 257–265.

Asheim, G. B. (1997), *Adjusting green NNP to measure sustainability*, „The Scandinavian Journal of Economics", vol. 99, no. 3, 355–370.

Azomahou, T., Boucekkine, R. and Nguyen Van, P. (2006), *Energy consumption and vintage effect: a sectoral analysis*, niepublikowane.

Bartelmus, P., Stahmer, C., Tongeren, J. V. (1991), *Integrated environmental and economic accounting: framework for a SNA satellite system*, „Review of Income and Wealth", vol. 37, no. 2, 111–148.

Becker, G. (1964), *Human capital*, Columbia University Press for the National Bureau of Economic Research, New York.

Berck, P., Roberts, M. (1996), *Natural resource prices: will they ever turn up?*, „Journal of Environmental Economics and Management", vol. 31, no. 1, 65–78.

Brock, W. A., Taylor, M. S. (2010), *The Green Solow model*, „Journal of Economic Growth", vol. 15, no. 2, 127–153.

Bruno, M., Sachs, J. (1982), *Energy and resource allocation: a dynamic model of the Dutch Disease*, „The Review of Economic Studies", vol. 49, no. 5, 845–859.

Cleveland, C. J., Ruth, M. (1997), *When, where and by how much do biophysical limits constrain the economic process? A survey of Nicholas Georgescu-Roegen's contribution to ecological economics*, „Ecological Economics", vol. 22, 203–223.

Constanza, R., Daly, H. E. (1992), *Natural capital and sustainable development*, „Conservation Biology", vol. 6, no. 1, 37–46.

Daly, H. E., Cobb, J. B. Jr (1989), *For the Common Good: Redirecting the Economy Toward Community, the Environment and a Sustainable Future*, no. 73, Beacon Press.

Dasgupta, P. (1993), *Natural resources in the age of substitutability*, [w:] A.V. Kneese, J.L. Sweeney (eds), *Handbook of Natural Resource and Energy Economics*, Elsevier.

Dasgupta, P., Heal, G. (1974), *The optimal depletion of exhaustible resources*, „Review of Economic Studies", (symposium volume), 3–28.

Dasgupta, P., Heal, G. (1979), *Economic Theory and Exhaustible Resources*, Cambridge University Press, Cambridge.

Ding, N., Field, B.C. (2005), *Natural resource abundance and economic growth*, „Land Economics", vol. 81, 496–502.

Durlauf, S., Johnson, P., Temple, J. (2004), *Growth econometrics*, [w:] P. Aghion, S. Durlauf, *Handbook of Economic Growth*, Elsevier, Amsterdam.

Enders, W. (2008), *Applied Econometric Time Series*, John Wiley & Sons, New York

Fiedor, B. (red.) (2002), *Podstawy ekonomii środowiska i zasobów naturalnych*, C.H. Beck, Warszawa.

Florczak, W. (2011), *W kierunku endogenicznego i zrównoważonego rozwoju – perspektywa makroekonometryczna*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.

Georgescu-Roegen, N. (1971), *The Entropy Law and the economic process*, Harvard University Press, Cambridge, MA.

Grimaud, A., Rougé, L. (2003), *Non-renewable resources and growth with vertical innovations: optimum, equilibrium and economic policies*, „Journal of Environmental Economics and Management", vol. 45, 433–453.

Grimaud, A., Rougé, L. (2005), *Polluting non-renewable resources, innovation and growth: welfare and environmental policy*, „Resource and Energy Economics", vol. 27, no. 2, 109–129.

Grimaud, A., Rougé, L. (2008), *Environment, directed technical change and economic policy*, „Environmental and Resource Economics", vol. 41, 439–463.

Grobler, A. (2006), *Metodologia nauk*, Wydawnictwo Znak, Kraków.

Grossman, G. M., Krueger, A. B. (1995), *Economic growth and the environment*, „The Quarterly Journal of Economics", vol. 110, no. 2, 353–377.

Growiec, J. (2012), *Zagregowana funkcja produkcji w ekonomii wzrostu gospodarczego i konwergencji*, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa.

Growiec, J., Schumacher, I. (2008), *On technical change in the elasticities of resource inputs*, „Resources Policy", vol. 33, 210–221.

Growiec, J., Schumacher, I. (2013), *Technological opportunity, long-run growth, and convergence*, „Oxford Economic Papers", vol. 65, no. 2, 323–351.

Gylfason, T. (2001), *Natural resources, education and economic development*, „European Economic Review", vol. 45, 847–859.

Hartwick, J. M. (1977), *Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources*, „The American Economic Review", vol. 67, no. 5, 972–974.

Hartwick, J. M. (1990), *Natural resources, national accounting and economic depreciation*, „Journal of Public Economics", vol. 43, no. 3, 291–304.

Hotelling, H. (1931), *The economics of exhaustible resources*, „The Journal of Political Economy", vol. 39, no. 2, 137–175.

Huntington, S.P. (1968), *Political Order in Changing Societies*, Yale University Press, New Haven.

Kasperkiewicz, W., Madaj K. (red.) (2012), *Wzrost gospodarczy, rynek pracy, innowacyjność gospodarki*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.

Kawa, P. (2005), *Wzrost gospodarczy na gruncie modeli wzrostu endogenicznego - ujęcie teoretyczne i wnioski dla polityki gospodarczej*, [w:] S. Krajewski, L. Kucharski (red.), *Wzrost gospodarczy, restrukturyzacja i rynek pracy w Polsce, ujęcie teoretyczne i empiryczne* (materiały z konferencji, Katedra Ekonomii UŁ), Łódź.

Kiedrowski, R. (2007), *Klasyczna alokacja kapitału w gospodarce konkurencyjnej*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Poznań.

Kortum, S., Lerner, J. (1999), *What is behind the recent surge in patenting?*, „Research Policy", vol. 28, no. 1, 1–22.

Kuhn, T. S. (2012), *The structure of scientific revolutions*, University of Chicago, Chicago.

Lee, J., List, J. A., Strazicich, M. C. (2006), *Non-renewable resource prices: Deterministic or stochastic trends?*, „Journal of Environmental Economics and Management", vol. 51, no. 3, 353–370.

Leff, N. H. (1964), *Economic development through bureaucratic corruption*, „American Behavioral Scientist", vol. 8, no. 3, 8–14.

Lin, C., Meng, H., Ngai, T., Oscherov, V., Zhu, Y., (2009), *Hotelling revisited: oil prices and endogenous technological progress*, „Natural Resources Research", vol. 18, no. 1, 29–38.

Livernois, J., Thille, H., Zhang, X. (2006), *A test of the Hotelling rule using old-growth timber data*, „Canadian Journal of Economics/Revue canadienne d'conomique", vol. 39, no. 1, 163–186.

Lucas, R. (1988), *On the mechanics of economic development*, „Journal of Monetary Economics", vol. 22, no. 1, 3–42.

Lundström, S. (2003), *Technological Opportunities and Growth in the Natural Resource Sector*, Working Papers in Economics, no. 116.

Lütkepohl, H. (2005), *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*, Cambridge University Press, Cambridge

Majsterek, M. (2008), *Wielorównaniowa analiza kointegracyjna w ekonomii*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.

Malaczewski, M. (2011a), *Zasoby naturalne, postęp techniczny a długookresowy wzrost gospodarczy*, [w:] E. Panek (red.), *Wzrost gospodarczy. Teoria i rzeczywistość*, Zeszyty Naukowe, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego, Poznań.

Malaczewski, M. (2011b), *Rola postępu technicznego w relacji między zasobami naturalnymi a wzrostem gospodarczym*, [w:] E. Panek (red.), *Matematyka i informatyka na usługach ekonomii. Modelowanie zjawisk gospodarczych. Elementy teorii*, Zeszyty Naukowe, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego, Poznań.

Malaczewski, M. (2011c), *Wzrost gospodarczy i zasoby naturalne w gospodarce z endogenicznym postępem technicznym*, „Prace i Materiały Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Gdańskiego", nr 4/8.

Malaczewski, M. (2012a), *Postęp techniczny, zużycie zasobów naturalnych a energochłonność akumulacji kapitału i wzrost gospodarczy*, [w:] W. Kasperkiewicz, K. Madaj (red.), *Wzrost gospodarczy, rynek pracy, innowacyjność gospodarki*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.

Malaczewski, M. (2012b), *Zużycie zasobów naturalnych, zanieczyszczenie środowiska a postęp techniczny i wzrost gospodarczy*, [w:] W. Jurek (red.), *Matematyka i informatyka na usługach ekonomii. Teoria – modele*, Zeszyty Naukowe, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego, Poznań.

Malaga, K. (2004), *Konwergencja gospodarcza w krajach OECD w świetle zagregowanych modeli wzrostu*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Poznań.

Mäler, K. G. (1991), *National accounts and environmental resources*, „Environmental and Resource Economics", vol. 1, no. 1, 1–15.

Mankiw, N. G. (1995), *The growth of nations*, „Brookings Papers on Economic Activity", NBER, vol. 1.

Matsuyama, K. (1992), *Agricultural productivity, comparative advantage, and economic growth*, „Journal of Economic Theory", vol. 58, no. 2, 317–334.

Mauro, P. (1995), *Corruption and growth*, „The Quarterly Journal of Economics", vol. 110, 681–712.

Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J., Behrens, W. W. (1973), *Granice wzrostu*, PWE, Warszawa.

Milo, W. (1990), *Szeregi czasowe*, PWE, Warszawa.

Milo, W., Malaczewski, M., Szafrański, G., Ulrichs, M., Wośko, Z. (2010), *Stabilność rynków kapitałowych, a wzrost gospodarczy*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.

Olsson, O. (2000), *Knowledge as a set in idea space: An epistemological view on growth*, „Journal of Economic Growth", vol. 5, no. 3, 253–275.

Olsson, O. (2005), *Technological opportunity and growth*, „Journal of Economic Growth", vol. 10, no. 1, 31–53.

Panek, E. (2005), *O wzroście stabilnym bez równowagi*, „Ekonomista", nr 1, 9–26.

Pearce, D. W., Atkinson, G. D. (1993), *Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of weak sustainability*, „Ecological Economics", vol. 8, no. 2, 103–108.

Pérez-Barahona, A. (2007a), *The problem of exhaustible energy resources in the production of capital*, CORE Discussion Papers, no. 8.

Pérez-Barahona, A. (2007b), *Capital accumulation and exhaustible energy resources: a Special Functions case*, CORE Discussion Papers, no. 9.

Pérez-Barahona, A. (2010), *Economic growth and the use of non-renewable energy resources*, CORE (Ph.D. Thesis).

Pérez-Barahona, A. (2011), *Non-renewable energy resources as input for physical capital accumulation: A new approach*, „Macroeconomic Dynamics", vol. 15, no. 1, 1–30.

Perman, R., Ma, Y., McGilvray, J., Common, M. (2003), *Natural Resources and Environmental Economics*, Pearson Education.

Plich, M. (2002), *Budowa i zastosowanie wielosektorowych modeli ekonomiczno-ekologicznych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.

Popp, D. (2002), *Induced innovation and energy prices*, „American Economic Review", vol. 92, no. 1, 160–180.

Przybyliński, M. (2012), *Metody i tablice przepływów międzygałęziowych w analizach handlu zagranicznego Polski*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.

Romer, D. (2000), *Makroekonomia dla zaawansowanych*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.

Romer, P. (1990), *Endogenous technological change*, „Journal of Political Economy", vol. 98, no. 5, S71–S102.

Rosen, S. (1976), *A theory of life earnings*, „Journal of Political Economy", vol. 84, 545–567.

Rutkowska, L. (2010), *Trwanie życia w 2009 r.*, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.

Rybicki, W. (2010a), *O realokacji dóbr i sprawiedliwości międzypokoleniowej*, „Pragmata Tes Oikonomias", t. IV, 119.

Rybicki, W. (2010b), *O sprawiedliwości międzypokoleniowej*, „Studia i Prace Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie", nr 10, 141–155.

Sachs, J., Warner, A. (1995), *Natural resource abundance and economic growth*, NBER, Working Paper, no. 5398.

Sachs, J., Warner, A. (1997), *Sources of slow growth in african economies*, „Journal of African Economies", vol. 6, no. 3, 335–376.

Sachs, J., Warner, A. (2001), *Natural resources and economic development: the curse of natural resources*, „European Economic Review", vol. 45, 827–838.

Sala-i-Martin, X. (1997), *I just ran two million regressions*, „American Economic Review", vol. 87, 178–183.

Sala-i-Martin, X. (2006), *The world distribution of income: falling poverty and convergence, period*, „The Quarterly Journal of Economics", vol. 121, no. 2, 351–397.

Sala-i-Martin, X., Subramanian, A. (2003), *Addressing the natural resource curse: An illustration from Nigeria*, no. w9804, NBER.

Sefton, J. A., Weale, M. R. (1996), *The net national product and exhaustible resources: The effects of foreign trade*, „Journal of Public Economics", vol. 61, no. 1, 21–47.

Sefton, J. A., Weale, M. R. (2006), *The concept of income in a general equilibrium*, „The Review of Economic Studies", vol. 73, no. 1, 219–249.

Sharma, A., Balcombe, K., Fraser, I. (2009), *Non-renewable resource proces: structural breaks and long term trends*, „Economics Bulletin", vol. 29, issue 2.

Slade, M. (1982), *Trends in natural-resource commodity prices: An analysis of the time domain*, „Journal of Environmental Economics and Management", vol. 9, no. 2, 122–137.

Solow, R. (1956), *A contribution to the theory of economic growth*, „The Quarterly Journal of Economics", vol. 70, no. 1, 65–94.

Solow, R. (1974), *Intergenerational equity and exhaustible resources*, „Review of Economic Studies", (symposium volume), 29–45.

Solow, R. (1986), *On the intergenerational allocation of natural resources*, „The Scandinavian Journal of Economics", 141–149.

Solow, R. (1992), *An almost practical step toward sustainability*, Resources for the Future.

Stern, D. I. (1994), *Natural resources as factors of production: three empirical studies*, Doctoral dissertation, Boston University.

Stern, D. I. (1997), *The capital theory approach to sustainability: a critical appraisal*, „Journal of Economic Issues", vol. 31, no. 1, 145–173.

Stern, D. I. (2004), *The rise and fall of the environmental Kuznets curve*, „World development", vol. 32, no. 8, 1419–1439.

Stiglitz, J. (1974), *Growth with exhaustible resources: efficient and optimal growth paths*, „Review of Economic Studies", (symposium volume), 123–137.

Stijns, J.P.C. (2005), *Natural resource abundance and economic growth revisited*, „Resources Policy", vol. 30, 107–130.

Stijns, J.P.C. (2006), *Natural resource abundance and human capital accumulation*, „World Development", vol. 34, 1060–1083.

Sztaudynger, J.J. (2005), *Wzrost gospodarczy a kapitał społeczny, prywatyzacja i inflacja*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.

Tatarkiewicz, W. (2011), *Historia filozofii*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.

Tokarski, T. (1996), *Postęp techniczny a wzrost gospodarczy w modelach endogenicznych*, „Ekonomista", t. 5, 581–604.

Tokarski, T. (1998), *Postęp techniczny a wzrost gospodarczy w modelach Solowa i Lucasa*, „Ekonomista", t. 2–3, 271–291.

Tokarski, T. (2008), *Efekty skali a wzrost gospodarczy*, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.

Tokarski, T. (2011), *Ekonomia matematyczna: modele makroekonomiczne*, PWE, Warszawa.

Uzawa, H. (1965), *Optimum technological change in an aggregative model of economic growth*, „International Economic Review", vol. 6, 18–31.

Vincent, J. R., Panayotou, T., Hartwick, J. M. (1997), *Resource depletion and sustainability in small open economies*, „Journal of Environmental Economics and Management", vol. 33, no. 3, 274–286.

Wang, D., Tomek, W. G. (2007), *Commodity prices and unit root tests*, „American Journal of Agricultural Economics", vol. 89, no. 4, 873–889.

Wdowiński, P. (2010), *Modele kursów walutowych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.

Weitzman, M. L. (1976), *On the welfare significance of national product in a dynamic economy*, „The Quarterly Journal of Economics", vol. 90, no. 1, 156–162.

Weitzman, M. L. (1999), *Pricing the limits to growth from minerals depletion*, „The Quarterly Journal of Economics", vol. 114, no. 2, 691–706.

Welfe, A. (2003), *Ekonometria – metody i ich zastosowanie*, PWE, Warszawa.

Withagen, C. (2002), *Optimal extraction of non-renewable resources*, [w:] J. C. J. M. van den Bergh (ed.), *Handbook of Environmental and Resources Economics*, Edward Elgar Publishing, 49–58.

Zawadzki, H. (1996), *Chaotyczne systemy dynamiczne – elementy teorii i wybrane przykłady ekonomiczne*, Prace Naukowe, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Karola Adamieckiego, Katowice.

Zawadzki, H. (red.) (2006), *Zbiory graniczne i atraktory w modelach ekonomii matematycznej*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Katowice.

Żylicz, T. (2004), *Ekonomia środowiska i zasobów naturalnych*, PWE, Warszawa.

Załącznik

A. Podstawowy model Lucasa (1988)

Model Lucasa (1988) stanowił jedną z pierwszych usystematyzowanych prób ujęcia wpływu wartości kapitału ludzkiego na wzrost gospodarczy. Autor artykułu dokonuje wpierw krótkiego przeglądu ówczesnego paradygmatu neoklasycznej teorii wzrostu, rozpoczynając od prezentacji modelu, który dalej zostaje wzbogacony o efekty związane z kapitałem ludzkim, jego akumulacją i jego wpływem na wielkość produkcji. Jako kapitał ludzki rozumie on *zwykły ogólny poziom umiejetności jednostki, zatem pracownik z kapitałem ludzkim na poziomie h jest wydajny tak jak dwóch pracowników z $\frac{1}{2}h$ każdy i w połowie tak wydajny jak pracownik z $2h$*[1]. Rozważany jest podwójny wpływ wielkości tego kapitału na wzrost produkcji, wewnętrzny (bezpośredni) oraz zewnętrzny (pośredni, wykorzystujący postęp technologiczny). Tak samo jak w przypadku innych modeli, znaleźć można w literaturze różne wersje modelu Lucasa[2], w każdym jednak przypadku główne wnioski są podobne.

Rozważamy gospodarkę zamkniętą, bez widocznego udziału państwa. W gospodarce tej występują dwa rodzaje jednostek, gospodarstwa domowe oraz przedsiębiorstwa. Gospodarstwa domowe składają się łącznie z L nieskończenie długo żyjących jednostek, z czego jednostek posiadających h kapitału ludzkiego jest $L(h)$. To pozwala zauważyć, że $L = \int_0^{+\infty} L(h)dh$.

Każdy z pracowników może zaangażować pewną część posiadanego czasu nie zużywanego na odpoczynek, oznaczoną przez u, na wzięcie udziału w procesie produkcyjnym, a pozostałe $1 - u$ czasu na akumulację własnego kapitału ludzkiego. Lucas uzależnia tą część od wielkości kapitału ludzkiego, twierdząc tym samym, że różna jego wielkość może mniej lub bardziej

[1] Por. Lucas (1988), s. 17.

[2] Model Lucasa rozważał np. Tokarski (1996, 1998, 2008, 2011). W pracach tych analizowany jest model Lucasa z pominięciem pośredniego efektu akumulacji wiedzy.

zachęcać do jego podnoszenia. Powołuje się przy tym na pracę Beckera (1964), który z kolei sugeruje, iż krańcowe zyski z edukacji mają tendencję do zmniejszania się wraz ze starzeniem się jednostki[3], co powoduje zmniejszenie się chęci poświęcania swego czasu na dalszą naukę umiejętności.

Lucas uznaje też za istotny w procesie produkcyjnym przeciętny poziom wiedzy, reprezentowany tu przez łączną wielkość kapitału ludzkiego będącego w posiadaniu jednostek podzieloną przez liczbę tych jednostek. Mamy zatem

$$h_a = \frac{\int_0^{+\infty} hL(h)dh}{\int_0^{+\infty} L(h)dh}.$$

Wzrost wielkości przeciętnego zasobu wiedzy jest, jak łatwo zauważyć z powyższego wzoru, ubocznym efektem wzrostu wielkości kapitału ludzkiego u poszczególnych jednostek. Lucas nazywa to efektem *zewnętrznym* akumulacji kapitału ludzkiego. Oznacza to, że proces akumulacji wiedzy ma w gospodarce podwójny wpływ na wielkość produkcji: przez wzrost poziomu wiedzy zatrudnionych pracowników, którzy bezpośrednio oddziaływają na wielkość produkcji, oraz przez wzrost ogólnego poziomu wiedzy, który poprzez postęp techniczny pośrednio wpływa na produkt.

Podsumowując, efektywna wielkość zasobów sił pracy równa jest $L^e = u(h)hL$. Przyjmując założenie o homogeniczności wszystkich jednostek w gospodarce, dostajemy też, iż $h_a = h$. Równość ta zachodzi jednak jedynie co do wielkości tych zmiennych, nie zaś co do ich charakteru.

Wielkość produkcji dana jest przez trójczynnikową funkcję produkcji:

$$Y = F(K, L^e, h_a),$$

która przybliżona jest przez Lucasa przez funkcję typu Cobba-Douglasa postaci

$$Y = AK^{\beta}(uhL)^{1-\beta}h_a^{\gamma},$$

gdzie A jest stałym współczynnikiem, mającym interpretację łącznej produktywności czynników produkcji, tj. wyznacza wielkość produkcji w przypadku, gdy wszystkie czynniki produkcji mają jednostkową wartość. Ze względu jednak na wyróżniony udział kapitału ludzkiego oraz przeciętnego zasobu wiedzy, mającego odzwierciedlać postęp techniczny, parametr A traci część swej technologicznej interpretacji związanej z postępem technicznym określanym jako wzrost poziomu wiedzy. Może być zatem rozumiany jako wielkość niezmiennej struktury używanej w procesie produkcyjnym, np. zasobu ziemi.

[3] Za Aghion, Howitt (1998), s. 330.

Jednostki realizują konsumpcję, globalnie równą iloczynowi ilości jednostek L oraz przeciętnej konsumpcji na jednostkę, c. Jednostki te podejmują racjonalne decyzje w warunkach konkurencyjnych maksymalizując swą łączną użyteczność daną tu wzorem

$$\int_0^{+\infty} e^{-\rho t} \frac{1}{1-\sigma}(c^{1-\sigma} - 1)dt,$$

gdzie ρ jest współczynnikiem dyskonta konsumpcji, czyli wartością informującą nas o tym jaka jest relacja użyteczności płynącej z konsumpcji w okresie bieżącym do użyteczności konsumpcji realizowanej w okresie przyszłym, σ natomiast jest równa co do wartości elastyczności krańcowej użyteczności konsumpcji przemnożonej przez -1. Liczba jednostek rośnie w czasie według stałej stopy n, co daje zależność:

$$\dot{L} = nL.$$

Zauważmy, iż maksymalizujemy użyteczność pojedynczego konsumenta reprezentującego jednostkę zasobów sił efektywnej pracy. Stąd brak jest pod całką wyrażenia e^{nt}. Nie ma to jednak wpływu na wnioski oraz na dynamikę układu.

Ewolucja wartości kapitału ludzkiego przebiega według schematu zaproponowanego przez Uzawę (1965):

$$\dot{h} = h^{\xi}\delta(1-u),$$

gdzie δ jest maksymalną stopą wzrostu h w sytuacji, gdyby cały czas jednostek poświęcany był na rozwój wielkości kapitału ludzkiego. Rosen (1976) pokazał, że przyjęcie $\xi = 1$ jest zgodne z empirycznymi dowodami dotyczącymi przychodów jednostek. Lucas przyjmuje zatem funkcję powyżej wskazaną z założeniem $\xi = 1$.

Zakładając oczyszczanie się gospodarki, postulowany jest warunek równowagi na rynku dóbr:

$$C + I = Y,$$

gdzie C jest wielkością łącznej konsumpcji w całej gospodarce, a I – wielkością nakładów inwestycyjnych przeznaczonych na wzrost wielkości środków trwałych. Mamy zatem

$$Lc + \dot{K} = AK^{\beta}(uhL)^{1-\beta}h_a^{\gamma}.$$

Wprowadzamy wielkość $k = \frac{K}{L}$, którą nazwiemy technicznym uzbrojeniem pracy, oraz $y = \frac{Y}{L}$, które odzwierciedla wydajność pracy. Cały model przybiera zatem postać[4]:

$$\int_0^{+\infty} e^{-\rho t} \frac{1}{1-\sigma}(c^{1-\sigma} - 1)dt \to max \tag{A.1}$$

$$\dot{k} = Ak^{\beta}(uh)^{1-\beta}h_a^{\gamma} - c - nk \tag{A.2}$$

$$\dot{h} = h\delta(1-u) \tag{A.3}$$

przy dodatkowym założeniu, że $h_a = h$ z zastrzeżeniami opisanymi już wcześniej.

Dokonamy teraz wyprowadzenia rozwiązania tego modelu. Hamiltonian dany jest zatem wzorem

$$\begin{aligned}\mathbb{H}(c, u, k, h, \lambda_1, \lambda_2, t) =& e^{-\rho t}\frac{1}{1-\sigma}(c^{1-\sigma} - 1)\\ &+\lambda_1(Ak^{\beta}(uh)^{1-\beta}h_a^{\gamma} - c - nk)\\ &+\lambda_2(h\delta(1-u)).\end{aligned}$$

Warunki pierwszego rzędu dane są wzorami

$$\frac{\partial \mathbb{H}}{\partial c} = 0 \Rightarrow e^{-\rho t}c^{-\sigma} - \lambda_1 = 0 \tag{A.4}$$

$$\frac{\partial \mathbb{H}}{\partial u} = 0 \Rightarrow \lambda_1(1-\beta)Ak^{\beta}u^{-\beta}h^{1-\beta}h_a^{\gamma} - \lambda_2 h\delta = 0 \tag{A.5}$$

$$\frac{\partial \mathbb{H}}{\partial k} = -\dot{\lambda}_1 \Rightarrow -\dot{\lambda}_1 = \lambda_1(\beta Ak^{\beta-1}(uh)^{1-\beta}h_a^{\gamma} - n) \tag{A.6}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \mathbb{H}}{\partial h} = -\dot{\lambda}_2 \Rightarrow -\dot{\lambda}_2 =&\\ &= \lambda_1(1-\beta)Ak^{\beta}u^{1-\beta}h^{-\beta}h_a^{\gamma} + \lambda_2\delta(1-u)\end{aligned} \tag{A.7}$$

Wykorzystując powyższe warunki, wyprowadzimy teraz wzory na stopy wzrostu poszczególnych wielkości określanych przez model. Zaczniemy od stopy wzrostu konsumpcji. Z równań (A.4) i (A.5) mamy:

$$\begin{aligned}-\rho e^{-\rho t}c^{-\sigma} + e^{-\rho t}(-\sigma)c^{-\sigma-1}\dot{c} = \dot{\lambda}_1 =&\\ = -\lambda_1(\beta Ak^{\beta-1}(uh)^{1-\beta}h_a^{\gamma} - n) =&\\ = -e^{-\rho t}c^{-\sigma}(\beta Ak^{\beta-1}(uh)^{1-\beta}h_a^{\gamma} - n),&\end{aligned}$$

[4] W ten sposób model ten opisują Aghion, Howitt (1998), s. 607 i n.

co prowadzi do

$$-\rho + (-\sigma)c^{-1}\dot{c} = -(\beta A k^{\beta-1}(uh)^{1-\beta}h_a^{\gamma} - n)$$

oraz

$$g_c = \frac{\dot{c}}{c} = \frac{\beta A k^{\beta-1}(uh)^{1-\beta}h_a^{\gamma} - n - \rho}{\sigma}. \tag{A.8}$$

Łatwo zatem zauważyć, że tempo wzrostu konsumpcji na głowę uzależnione jest od temp wzrostu technicznego uzbrojenia pracy oraz przeciętnej wielkości kapitału ludzkiego będącego w posiadaniu jednostki. Zakładając istnienie stanu równowagi[5] opisywanego układu, zakładamy też stałość stóp wzrostu poszczególnych zmiennych w gospodarce znajdującej się w nim oraz stałość udziału czasu poświęcanego przez jednostki na produkcję u. Oznaczmy zatem przez g_c^* stałą stopę wzrostu konsumpcji w przypadku, gdy układ znajduje się w stanie równowagi oraz przez u^* udział czasu poświęcanego przez jednostki na produkcję w stanie równowagi. Wykorzystując wyliczoną tożsamość w równaniu ruchu k dostajemy

$$\frac{\dot{k}}{k} = A k^{\beta-1}(uh)^{1-\beta}h_a^{\gamma} - n - \frac{c}{k} \tag{A.9}$$

$$g_k^* = \frac{\dot{k}}{k} = \frac{\sigma g_c^* + \rho + n}{\beta} - \frac{c}{k} - n.$$

Aby stałość stopy wzrostu technicznego uzbrojenia pracy w stanie równowagi została zachowana, konsumpcja musi zmieniać się w tym samym tempie co k, a zatem mamy $g_c^* = g_k^*$.

Wróćmy do równania (A.8) i przeformułujmy go dla gospodarki znajdującej się w stanie równowagi. Mamy wtedy

$$\sigma g_c^* + n + \rho = \beta A k^{\beta-1} u^{*1-\beta} h^{1-\beta+\gamma} \tag{A.10}$$

gdzie wykorzystano, iż $h_a = h$. Różniczkując obustronnie względem czasu powyższe równanie dostajemy

$$0 = \beta(\beta-1)A k^{\beta-1} u^{*1-\beta} h^{1-\beta+\gamma} g_k^* + \\ + \beta(1-\beta+\gamma)A k^{\beta-1} u^{*1-\beta} h^{1-\beta+\gamma} g_h^*,$$

[5] Precyzyjnie rzecz biorąc, należałoby wykazać istnienie takiego stanu. Inaczej dokonujemy wnioskowania o zachowaniu gospodarki w stanie równowagi bez, być może, możliwości jego zaistnienia. E. Panek pisze „gospodarki niestacjonarne są pozbawione stanów inwariantnych, będących atrybutami równowagi w jej klasycznym sensie. Czy można więc mówić o stabilnym wzroście gospodarek, o których z góry wiadomo, że nigdy nie będą w równowadze, gdyż są jej po prostu pozbawione?" (por. Panek 2005, s. 14).

czyli

$$g_k^* = \frac{1-\beta+\gamma}{1-\beta} g_h^* \tag{A.11}$$

Z równania ruchu kapitału ludzkiego łatwo widać, że

$$g_h^* = \delta(1-u^*).$$

Aby zatem otrzymać stopę wzrostu kapitału ludzkiego, technicznego uzbrojenia pracy oraz konsumpcji, a przez to także stopę wzrostu produktu na jednostkę, konieczne jest wyznaczenie równowagowej wartości u. Łatwo zauważyć, że skoro

$$y = Ak^{\beta}(uh)^{1-\beta}h_a^{\gamma},$$

to

$$g_y^* = \beta g_k^* + (1-\beta+\gamma)g_h^* = g_k^*.$$

Różniczkując obustronnie względem czasu (A.5) dostajemy

$$\begin{aligned}\dot{\lambda}_1(1-\beta)Ak^{\beta}u^{-\beta}h^{1-\beta+\gamma}+ \\ + \lambda_1\beta(1-\beta)Ak^{\beta}u^{-\beta}h^{1-\beta+\gamma}g_k^*+ \\ + \lambda_1(1-\beta+\gamma)(1-\beta)Ak^{\beta}u^{-\beta}h^{1-\beta+\gamma}g_h^* = \\ = \dot{\lambda}_2 h\delta + \lambda_2\dot{h}\delta.\end{aligned}$$

Dzieląc obustronnie powyższe równanie przez

$$\lambda_1(1-\beta)Ak^{\beta}u^{-\beta}h^{1-\beta+\gamma} = \lambda_2 h\delta,$$

dostajemy

$$\frac{\dot{\lambda}_1}{\lambda_1} + \beta g_k^* + (1-\beta+\gamma)g_h^* = \frac{\dot{\lambda}_2}{\lambda_2} + g_h^* \tag{A.12}$$

Z pozostałych warunków (A.6) i (A.7) oraz raz jeszcze korzystając z (A.4) dostajemy:

$$\frac{\dot{\lambda}_1}{\lambda_1} = -\beta Ak^{\beta-1}u^{*1-\beta}h^{1-\beta+\gamma} + n,$$

$$\frac{\dot{\lambda}_2}{\lambda_2} = -\frac{\lambda_1}{\lambda_2}(1-\beta)Ak^{\beta}u^{*1-\beta}h^{-\beta+\gamma} - \delta(1-u),$$

oraz

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{h\delta}{(1-\beta)Ak^{\beta}u^{*-\beta}h^{1-\beta+\gamma}}.$$

Wstawiając powyższe trzy równania do (A.12) oraz wykorzystując wzór (A.10) dostajemy

$$-\sigma g_c^* - \rho + \beta g_k^* + (1-\beta+\gamma)g_h^* = -\delta + g_h^*,$$

co po uporządkowaniu oraz przy równości $g_c^* = g_k^*$ daje

$$(\beta-\sigma)g_k^* = \rho - \delta + (\beta-\gamma)g_h^*.$$

Wykorzystując wcześniej wyprowadzoną równość (A.11) otrzymujemy

$$(\beta-\sigma)\frac{1-\beta+\gamma}{1-\beta}g_h^* - (\beta-\gamma)g_h^* = \rho - \delta,$$

czyli

$$g_h^* = \frac{1-\beta}{\sigma(1-\beta+\gamma)+\gamma}(\delta-\rho),$$

co z kolei prowadzi do zależności

$$g_k^* = g_c^* = \frac{1-\beta+\gamma}{\sigma(1-\beta+\gamma)+\gamma}(\delta-\rho) = g_h^* + \frac{\gamma}{\sigma(1-\beta+\gamma)+\gamma}(\delta-\rho).$$

oraz

$$u^* = 1 - \frac{1-\beta}{\sigma(1-\beta+\gamma)+\gamma}\frac{\delta-\rho}{\delta}.$$

Wprowadzenie założenia o gospodarce znajdującej się w punkcie równowagi (a zatem będącej w stanie, gdy wszystkie zmienne układu rosną według stałej stopy) pozwala dokonać analizy dynamiki układu w tym stanie oraz w jego otoczeniu.

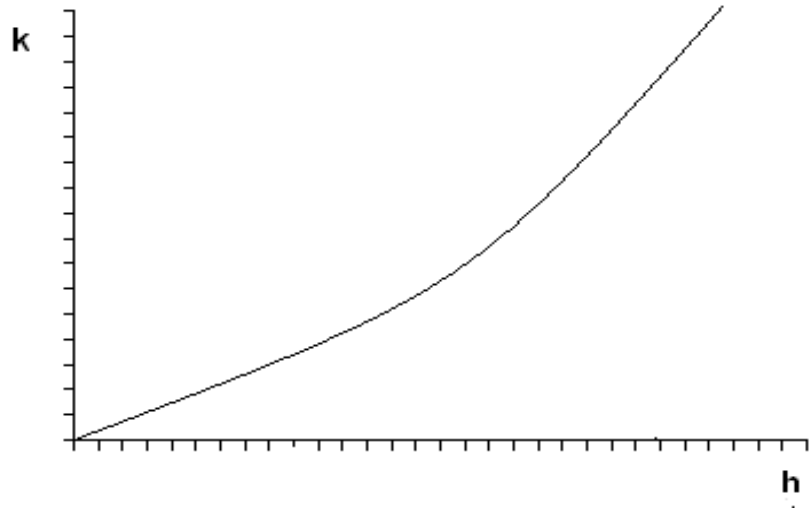
Zauważmy, że skoro zachodzi zależność (A.10), to ze względu na stałość lewej strony tego równania, obie wielkości zmienne, k i h, muszą zmieniać się proporcjonalnie. Nietrudno zauważyć, że z powyższego równania można wyliczyć prostą zależność funkcyjną dla obu tych zmiennych charakteryzującą stan równowagi. Mamy zatem

$$k(h) = \left(\frac{\beta A u^{*1-\beta}}{\sigma g_c^* + n + \rho}\right)^{\frac{1}{1-\beta}} h^{\frac{1-\beta+\gamma}{1-\beta}} = C \cdot h^{\frac{1-\beta+\gamma}{1-\beta}} \tag{A.13}$$

gdzie $C = \left(\frac{\beta A u^{*1-\beta}}{\sigma g_c^* + n + \rho}\right)^{\frac{1}{1-\beta}}$ jest stałą. Łatwo zauważyć, że wykładnik potęgi h jest większy (bądź w skrajnym przypadku równy) od jedności, co powoduje, że krzywa ta jest wypukła. Jej wykres przedstawiony jest na rysunku 7.1.

Lucas sugeruje, że ruch gospodarki powinien być skierowany w stronę tejże krzywej[6]. Zauważyć jednak należy, że ewolucja kapitału ludzkiego

[6] Por. Lucas (1988), s. 24.

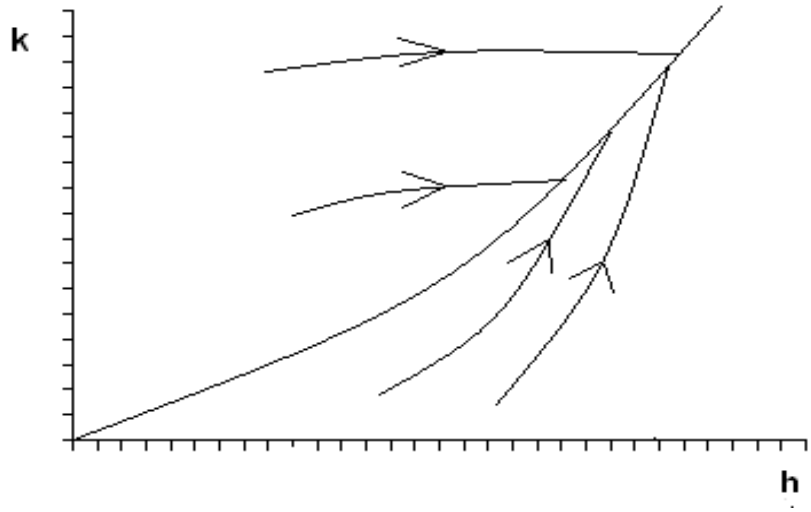


Rys. 7.1. Wykres zależności $k(h)$ w stanie równowagi gospodarki według modelu Lucasa
Źródło: opracowanie własne

(A.3) przeczy możliwości ruchu układu wzdłuż trajektorii skierowanej w lewą stronę (δ jest bowiem stała i dodatnia, a $u \in [0;1]$). Wartość kapitału ludzkiego nie może się zmniejszać, brakuje bowiem w modelu jakiegokolwiek mechanizmu jej deprecjacji. Zakładaliśmy też, że jednostki żyją nieskończenie długo. Wykluczając możliwość zbiorowej amnezji, stwierdzamy, iż wzdłuż osi poziomej ruch może następować jedynie w prawą stronę.

Mimo braku wyraźnego mechanizmu deprecjacji technicznego uzbrojenia pracy, równanie ruchu technicznego uzbrojenia pracy daje możliwość (poprzez regulowanie wielkości konsumpcji) dostosowywania wielkości zmiennej k do wielkości h w taki sposób, aby gospodarka znajdowała się na wskazanej krzywej gwarantującej stabilny wzrost podstawowych zmiennych o stałych stopach. Oznacza to jednak, że trajektorie mogą kształtować się tak, jak na rys. 7.2.

W momencie, w którym gospodarka znajdzie się już na wyznaczonej krzywej, ze względu na wspomniany już stały wzrost wartości obu zmiennych w czasie oraz na zachowane ich wzajemne proporcje opisane wyprowadzoną zależnością na $k(h)$, ruch nastąpi wzdłuż trajektorii w prawo i w górę w stałym tempie. Oznacza to, że podstawowa konkluzja Lucasa pozostaje w mocy – dwie gospodarki, które posiadają identyczne parametry makro- i mikroekonomiczne, różniące się jedynie startowym poziomem obu zmiennych, po dotarciu na wyznaczoną krzywą znajdą się w różnych miejscach.



Rys. 7.2. Trajektorie ruchu gospodarki zmierzającej do stanu równowagi według modelu Lucasa
Źródło: opracowanie własne

Gospodarka z wyższymi wartościami obu zmiennych będzie położona proporcjonalnie wyżej. Ponieważ obie te gospodarki poruszać się będą w stałym, jednakowym tempie, gospodarka znajdująca się niżej nie będzie w stanie dogonić gospodarki znajdującej się wyżej. Konieczne jest zatem sterowanie i zmiana odpowiednich parametrów, zarówno parametrów funkcji produkcji, jak też innych. To jednak może doprowadzić do przesunięcia się krzywej równowagi dla gospodarki, w której zmienialiśmy parametry, a także zmiany tempa wzrostu. Tylko pod takim warunkiem możliwe będzie osiągnięcie przez biedniejszą gospodarkę poziomu gospodarki bogatszej.

Zauważmy, że w przypadku nieskończenie długo żyjących jednostek można wnioskować o zmierzaniu u do pewnej stałej wartości, co może być związane z wyborem optymalnej wielkości czasu przeznaczonego na pracę oraz na rozwój kapitału ludzkiego. Stałość u^* daje stałość stopy wzrostu kapitału ludzkiego. Stopy wzrostu konsumpcji oraz technicznego uzbrojenia pracy są jednak od siebie zależne, a zatem wzrost konsumpcji ogranicza rozwój k i na odwrót – zmniejszenie konsumpcji pozwala podnieść wielkość inwestycji w kapitał fizyczny, co daje wzrost technicznego uzbrojenia pracy. Można zatem tu zaryzykować twierdzenie, iż racjonalnie postępujące gospodarstwa domo-

we, chcąc zabezpieczyć się przed nagłymi wahaniami wielkości c[7], dobierają takie wielkości stóp wzrostu tych zmiennych, by ich wzrost przebiegał proporcjonalnie. To oznacza jednak stałość tych dwóch stóp, co z kolei implikuje stałość stopy wzrostu produkcji na jednego obywatela.

Ze wzoru (A.13) nietrudno wnioskować, że wraz ze wzrostem łącznej produktywności czynników produkcji, wzrostem udziału czasu przeznaczanego na proces produkcyjny, wzrostem parametru wpływu poziomu łącznej wiedzy na poziom produkcji (γ), wzrostem udziału kapitału fizycznego w procesie produkcyjnym, spadkiem elastyczności krańcowej użyteczności, spadkiem stopy wzrostu zasobów sił pracy, spadkiem stopy dyskontowej potrzebna jest większa wartość technicznego uzbrojenia pracy przy tej samej wartości kapitału ludzkiego, co oznacza, że wyznaczona krzywa przesuwa się w górę. Oczywiście różny jest poziom wpływu zmian poszczególnych wielkości na stopień tego wzrostu, obliczyć go można wyznaczając poszczególne pochodne k względem odpowiednich parametrów.

Aghion i Howitt rozpatrują także problem tzw. społecznego planisty (*social planner*), czyli sytuację, gdy jednostki są świadome swojego wpływu na ogólny poziom wiedzy w społeczeństwie. Różni się to od opisanego przypadku tym, iż bierzemy pod uwagę od samego początku fakt, iż $h = h_a$. To pozwala zmodyfikować nieco warunki pierwszego rzędu, co prowadzi do odmiennych formuł na stopy wzrostu poszczególnych zmiennych. Łatwo pokazać, że otrzymane w ten sposób stopy wzrostu są większe niż uzyskane poprzez optymalizację w sytuacji konkurencji doskonałej. Wspomnieć jednak należy, iż problem ten, mimo że rozpatrywany w literaturze już od dosyć dawna, nie doczekał się jeszcze potwierdzenia empirycznego hipotezy o świadomości jednostek na temat ich wkładu w poziom wiedzy ogólnej. Ten aspekt powoduje, iż rozpatrywanie tego przypadku, zdaniem autora, jest oderwane od rzeczywistości i prowadzi do wniosków, których użyteczność jest, przynajmniej chwilowo, niewielka.

[7] Jest to prosty wniosek z hipotezy, iż racjonalne gospodarstwa domowe, preferując niezmienność, wybierają płaską ścieżkę konsumpcji.