GOSPODARKA NARODOWA

p-ISSN: 0867-0005
e-ISSN: 2300-5238

3(299)/2019, 95–117

www.gospodarkanarodowa.sgh.waw.pl DOI: 10.33119/GN/111469

Lech GRUSZECKI*
Bartosz JÓŹWIK**

Teoretyczne rekonstrukcje środowiskowej krzywej Kuznetsa

Streszczenie: Celem artykułu jest przegląd ekonomicznych modeli środowiskowej krzywej Kuznetsa, które uwzględniają zjawiska konstytutywne dla współczesnej gospodarki. Dokonując przeglądu modeli, odpowiadamy na pytanie, w jaki sposób zmiana poziomu rozwoju gospodarczego mierzonego wartością PKB *per capita* może wpływać na degradację albo poprawę jakości środowiska oraz jakie inne czynniki – związane pośrednio z poziomem rozwoju gospodarczego – mogą mieć istotny wpływ na omawianą relację? W artykule podjęto próbę wielowymiarowej charakterystyki tego zjawiska, zestawiając różnorodne modele, co umożliwia zdefiniowanie szerszego zakresu badań tej relacji i może się przyczynić do lepszego zrozumienia jej strukturalnych własności. Z przeprowadzonych studiów literatury wiemy, że istotne dla wyniku badań hipotezy środowiskowej krzywej Kuznetsa i ich interpretacji są dokładne charakterystyki: procesu degradacji środowiska (rozróżnienie pomiędzy czynnikami natychmiastowej degradacji środowiska a zanieczyszczeniami kumulującymi się w czasie) oraz kilku czynników związanych z dochodem – PKB *per capita* (dochodowej elastyczności popytu na jakość środowiska, nierówności społecznych, wzrostu populacji, a także liberalizacji handlu).

Słowa kluczowe: środowiskowa krzywa Kuznetsa, ekonomia środowiska

Kody klasyfikacji JEL: F64, O44, Q56

Artykuł nadesłany 7 lutego 2019 r., zaakceptowany 10 lipca 2019 r.

* Katedra Zastosowań Matematyki, Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II, e-mail: lgruszecki@kul.pl

** Katedra Ekonomii Międzynarodowej, Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II, e-mail: bjozwik@kul.pl

Wprowadzenie

Intensywne badania relacji między rozwojem gospodarczym a stopniem zanieczyszczenia środowiska trwają od przeszło trzech dekad. Problematyka ta została szeroko podjęta na początku lat 90. XX w., głównie przez Bank Światowy, który w 1992 r. opublikował raport *Development and the Environment*. Inne znane prace z tego okresu, w których zaznaczyła się problematyka wymienionej relacji, to publikacje Grossmana i Kruegera [1991] oraz Shafika i Bandyopadhyaya [1992] [przytoczone za Stern, 2004]. Wówczas to pojawiła się koncepcja określająca tę relację jako środowiskową krzywą Kuznetsa. Koncepcja ta nawiązywała do relacji pomiędzy nierównościami dochodowymi a rozwojem gospodarczym opisanej przez Kuznetsa w połowie lat 50. XX wieku [Kuznets, 1955] i zakładała, że środowiskowa krzywa Kuznetsa najczęściej przyjmuje kształt odwróconej litery U, co oznacza, że przy niewielkim poziomie dochodu intensywność i stopień degradacji środowiska są małe. Następnie intensywny rozwój rolnictwa oraz industrializacja powodują zużycie zasobów naturalnych w szybszym tempie niż ich odnowienie, a także szybki wzrost ilości i toksyczności odpadów. Na wyższym poziomie rozwoju gospodarczego zmiany strukturalne ukierunkowane na rozwój produkcji i usług, w których wykorzystuje się wiedzę o środowisku naturalnym w połączeniu ze zwiększoną świadomością ekologiczną i egzekwowaniem przepisów ochrony środowiska, bardziej przyjazne technologie, a także zwiększanie wydatków na ochronę środowiska, powodują stopniowe zmniejszenie degradacji środowiska [Panayotou, 1993]. Wielu ekonomistów uznało tę relację za stylizowany fakt, który należy opisać poprzez teorię. Środowiskowa krzywa Kuznetsa pozostała w centrum zainteresowania badaczy, mimo że nie znalazła wówczas jednoznacznego potwierdzenia w badaniach empirycznych. W kolejnych latach koncepcja ta była systematycznie rozwijana.

Stałe zwiększanie się zainteresowania środowisk naukowych koncepcją środowiskowej krzywej Kuznetsa następowało od początku lat 90. XX w. Proces ten możemy zaobserwować, m.in. przeglądając bazę Web of Science. Na przykład wprowadzając do bazy hasło (w polu *topic* lub *title*) „środowiskowa krzywa Kuznetsa (*Environmental Kuznets Curve*)" otrzymujemy 2370 rekordów. Pierwsza odnotowana publikacja ukazała się w 1994 r. W kolejnych latach liczba ta wzrastała aż do 376 w 2018 r. Spośród wszystkich rekordów najwięcej publikacji zostało zaklasyfikowanych do kategorii *environmental sciences* (963) i prawie tyle samo do *economics* (946). Kolejne dwie kategorie to *environment studies* (685) oraz *energy fuels* (403). Natomiast łączna liczba cytowań od 1995 r. do listopada 2018 r. wynosi 54 385, a bez własnych cytowań 28 606. Od 2005 r. obserwuje się jej bardzo szybki wzrost – z 338 do 11 576 w 2018 r. Najczęściej cytowanymi autorami są: B.Q. Lin (111), M. Shahbaz (91), Y. Liu (89) oraz Y. Wang (84). Należy jednak zaznaczyć, że uzyskane rezultaty analizy mogą wynikać z selektywnego doboru wydawnictw do bazy Web of Science. Pomijając ten fakt, trzeba stwierdzić, że przeważająca część badań jest prowadzona w dwóch centrach gospodarczych świata

– Chinach i Stanach Zjednoczonych, gdzie zainteresowanie koncepcją środowiskowej krzywej Kuznetsa bardzo szybko wzrastało w ostatnich latach. Prawdopodobnie należy się spodziewać podobnego wzrostu zainteresowania również w innych krajach.

Celem artykułu jest przegląd ekonomicznych modeli środowiskowej krzywej Kuznetsa, które uwzględniają zjawiska konstytutywne dla współczesnej gospodarki. Dokonując przeglądu modeli, odpowiadamy m.in. na pytania, w jaki sposób zmiana poziomu rozwoju gospodarczego, mierzonego wartością PKB *per capita*, może wpływać na degradację albo poprawę jakości środowiska oraz jakie inne czynniki – związane pośrednio z poziomem rozwoju gospodarczego – mogą mieć istotny wpływ na omawianą relację? Liczne badania prezentują zagadnienie relacji określonej przez środowiskową krzywą Kuznetsa jednoaspektowo, nie odnosząc się do złożonej natury tego zjawiska. Dlatego w artykule podjęto próbę wielowymiarowej jego charakterystyki, zestawiając różnorodne modele. Takie zestawienie umożliwia zdefiniowanie szerszego zakresu badań tej relacji i może się przyczynić do lepszego zrozumienia jej strukturalnych własności.

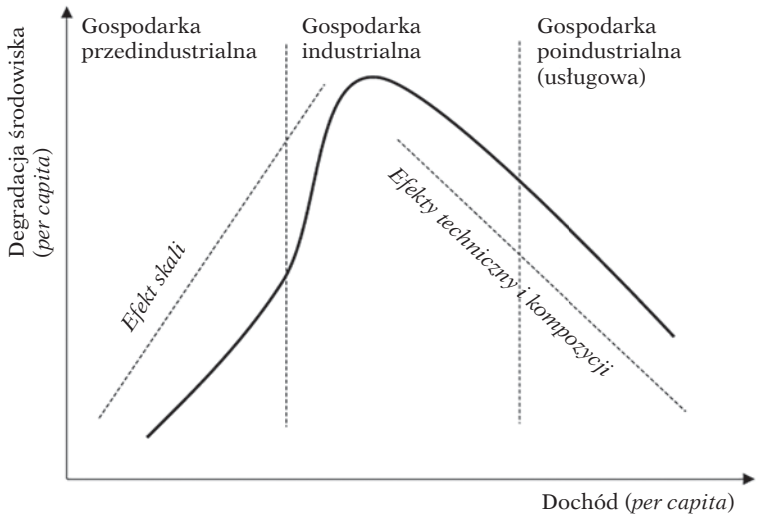
Należy we wstępie zaznaczyć, że ze względu na bardzo dużą liczbę różnorodnych modeli odnoszących się do koncepcji środowiskowej krzywej Kuznetsa w artykule zostały opisane niektóre z nich: model Lopeza [1994], w którym autor odnosi się do problemu kumulacji zanieczyszczenia środowiska, analizując dwa przypadki, gdy 1) biodegradacja zanieczyszczeń środowiskowych następuje natychmiastowo oraz 2) gdy zanieczyszczenia się kumulują; model McConnella [1997], który zapoczątkował serię publikacji prezentujących proste statyczne modele eksplikujące rolę dochodowej elastyczności popytu na jakość środowiska; model Torrasa i Boyce'a [1998] opisujący wpływ ogólnie rozumianych nierówności społecznych, w tym nierówności dochodowych, na poziom zanieczyszczeń; model wpływu wzrostu populacji na jakość środowiska Wanga, Fu i Zhanga [2015] oraz model Copelanda i Taylora [2004] odnoszący się do liberalizacji handlu.

Koncepcja środowiskowej krzywej Kuznetsa

Przed omówieniem wybranych modeli środowiskowej krzywej Kuznetsa warto przybliżyć istotę tej koncepcji. Głównym czynnikiem wpływającym na kształt krzywej jest zależność dochodowej elastyczności popytu i jakości środowiska. Zakładamy, że przy przekroczeniu określonego poziomu dochodu jego dalszy wzrost zwiększa popyt na wyższą jakość środowiska. Wśród innych czynników wymienianych w literaturze znajdują się nierówności dochodowe oraz handel zagraniczny, z którym dosyć często związane są zagraniczne inwestycje bezpośrednie, raje dla zanieczyszczeń oraz dyfuzja nowoczesnych technologii [Kaika, Zervas, 2013]. Ponadto na kształt krzywej wpływają trzy efekty działalności gospodarczej opisane przez Grossmana i Kruegera [1991]: efekt skali, kompozycji oraz techniczny. Efekty skali oddziałują negatywnie

na środowisko naturalne. Zwiększenie produkcji przy braku zmian technologii, co występuje zazwyczaj we wczesnym okresie uprzemysłowienia gospodarki, odbywa się przy zwiększeniu zużycia zasobów naturalnych i kosztem degradacji środowiska. Efekt skali wpływa na wznoszący kształt krzywej Kuznetsa (rysunek 1). Kolejne dwa efekty, kompozycji i techniczny, zmniejszają stopień degradacji środowiska naturalnego. Pozytywny efekt kompozycji wynika ze zmiany struktury produkcji polegającej na zmniejszeniu sektorów bardziej materiałochłonnych i energochłonnych na korzyść sektora usługowego, który z założenia jest bardziej przyjazny środowisku. Natomiast pozytywny efekt techniczny wynika z zastosowania nowych technologii, które są bardziej przyjazne środowisku lub zmniejszają jednostkowe nakłady produkcyjne.

Rysunek 1. Środowiskowa krzywa Kuznetsa



Źródło: na podstawie Kaika, Zervas [2013].

W wielu badaniach środowiskowa krzywa Kuznetsa przyjmuje postać litery N. Oznacza to, że opisana wcześniej poprawa środowiska, następująca po przekroczeniu punktu zwrotnego, następuje tylko do pewnego poziomu rozwoju gospodarczego, po czym odbywa się ponowny wzrost degradacji środowiska. Przyczyn tego zjawiska może być kilka. Jednym z nich, nawiązującym do wcześniej wymienionych trzech efektów, jest zwiększający się efekt skali ponad łączne efekty techniczne i kompozycji. W ostatnich latach opublikowano co najmniej kilka prac wskazujących na występowanie środowiskowej krzywej Kuznetsa w kształcie litery N. Na przykład Alvarez-Herranz oraz Balsalobre-Lorente [2015] przeprowadzili badania relacji pomiędzy wzrostem gospodarczym, mierzonym PKB *per capita*, a emisją gazów cieplarnianych *per capita* (*GHG emissions per capita*) dla 28 państw OECD w okresie 1993–2010. Autorzy wskazali, że relacja przybiera postać funkcji trzeciego stopnia w kształ-

cie litery N, czyli z dwoma punktami zwrotnymi. Przed pierwszym punktem zwrotnym (20 823 USD) znajdowały się wówczas trzy państwa: Turcja, Polska i Węgry. Natomiast drugi punkt zwrotny (60 353 USD) został przekroczony tylko przez Luksemburg. Inne badania, przeprowadzone przez Allarda, Takmana, Uddina i Ahmeda [2018], również wskazują na występowanie w wielu państwach relacji zobrazowanych krzywą w kształcie litery N. Autorzy badali związki pomiędzy PKB *per capita* a emisją dwutlenku węgla w 74 państwach, które podzielili na trzy grupy dochodowe[1], w okresie 1994–2012. W obliczeniach uwzględniono również jako zmienne objaśniające: konsumpcję energii odnawialnej, rozwój technologiczny, handel zagraniczny oraz jakość instytucji. Wyniki badań wskazywały, że środowiskowa krzywa Kuznetsa w kształcie litery N występowała w dwóch grupach państw: o wysokich dochodach (*high-income*) oraz niższych średnich dochodach (*lower-middle-income*), czyli bez grupy o wyższych średnich dochodach (*upper-middle-income*). Należy zaznaczyć, że podczas interpretowania rezultatów różnych badań ważne jest zwrócenie uwagi na zastosowane metody analizy, które często determinują wynik, na co wskazują sami autorzy wielu publikacji.

Pomimo upowszechniającej się koncepcji środowiskowej krzywej Kuznetsa wciąż pozostają wątpliwości co do rezultatów jej empirycznej weryfikacji. Wyniki badań nie są jednoznaczne. Wiadomo, że mają na to wpływ różne czynniki.

Po pierwsze, degradacja środowiska może być określona jako zanieczyszczenie w określonym momencie, na przykład w danym roku (*flow pollution*), albo jako skumulowany efekt negatywnego oddziaływania w dłuższym okresie (*stock pollution*). Jest to bardzo ważne rozróżnienie. Rozbieżności wyników badań w zależności od przyjętych zmiennych wykazał m.in. Lieb [2004]. Autor poddał analizie badania opublikowane w latach 1993–2003. Większość wyników analizy zmiennych w określonym momencie (*flow pollution*) wskazywała na relacje określone środowiskową krzywą Kuznetsa w kształcie odwróconego U (kilka w kształcie litery N). Natomiast analiza zmiennych skumulowanych (*stock pollution*) w większości przypadków wskazywała jedynie monotoniczny wzrost zanieczyszczenia w czasie (na przykład prace Heil, Selden [2001], Roca i in. [2001] oraz Stern, Common [2001]). Badacze wykorzystują różne wskaźniki (zmienne) degradacji środowiska, na przykład dwutlenek siarki (SO_2), pył zawieszony, tlenki azotu (NOx) lub tlenek węgla (CO). Ogólnie są to wskaźniki zanieczyszczenia atmosfery, lądów oraz wód, a także wskaźniki bioróżnorodności [Özokcu, Özdemir, 2017]. Po trzecie, istotny z punktu widzenia potwierdzenia hipotezy jest dobór próby badawczej, czyli państw oraz okresu, z którego pochodzą dane. Przykładowe wyniki badań przeprowadzonych w różnych regionach, okresach i z wykorzystaniem różnych zmiennych przedstawia tabela 1.

---

[1] Klasyfikacja stosowana przez Bank Światowy. Autorzy badali państwa znajdujące się w trzech grupach: *high-income*, *upper-middle-income* oraz *lower-middle-income*.

Tabela 1. Wybrane wyniki badań środowiskowej krzywej Kuznetsa

Publikacja	Próba badawcza	Okres	Zmienne	Wyniki badań
Heidari i in. [2015]	Pięć państw ASEAN (Indonezja, Malezja, Filipiny, Singapur i Tajlandia)	1980–2008	Konsumpcja energii, wzrost gospodarczy, emisja dwutlenku węgla	EKC nie występuje w badanych państwach ASEAN
Kais i in. [2016]	58 państw rozwijających się z Europy, Azji, Ameryki Południowej, Bliskiego Wschodu, Afryki Północnej i Subsaharyjskiej	1990–2012	Konsumpcja energii, wzrost gospodarczy, emisja dwutlenku węgla	Badania potwierdziły hipotezę EKC w 58 państwach oraz pozytywną relację pomiędzy wzrostem gospodarczym i emisją dwutlenku węgla w długim okresie
Zaman, Moemen [2017]	90 państw	1975–2015	Konsumpcja energii, wzrost gospodarczy, wartość dodana usług, emisja dwutlenku węgla	Badania potwierdziły hipotezę EKC w państwach o niskich i średnich dochodach. Wzrostowi konsumpcji energii towarzyszy wzrost poziomu zanieczyszczeń. Wartość dodana usług zwiększa emisję dwutlenku węgla w długim okresie
Pablo-Romero, Sánchez-Braza [2017]	28 państw UE	1990–2013	Konsumpcja energii w budynkach mieszkalnych, PKB *per capita*	Badania potwierdziły hipotezę EKC w 28 państwach (dla konsumpcji energii w budynkach mieszkalnych)
Antonakakis i in. [2017]	106 państw	1971–2011	Wzrost gospodarczy, konsumpcja energii, emisja dwutlenku węgla	Badania grupy państw rozwiniętych gospodarczo nie wskazują na zmniejszanie emisji zanieczyszczeń. Badania nie potwierdziły hipotezy EKC
Hu i in. [2018]	25 państw rozwijających się	1996–2012	Konsumpcja energii, PKB *per capita*, emisja dwutlenku węgla, usługi komercyjne *per capita*, konsumpcja energii *per capita* ze źródeł odnawialnych	Badania nie potwierdziły hipotezy EKC. Jednak wskazały pozytywny wpływ wzrostu energii odnawialnej na zmniejszenie emisji dwutlenku węgla
Churchill i in. [2018]	20 państw OECD	1870–2014	Emisja dwutlenku węgla, rozwój gospodarczy	Wyniki badań potwierdzają hipotezę EKC dla 20 państw OECD jako całości. Natomiast indywidualnie relacja EKC występuje tylko w dziewięciu państwach

Publikacja	Próba badawcza	Okres	Zmienne	Wyniki badań
Lau i in. [2018]	18 państw OECD	1995–2015	Emisja dwutlenku węgla, wzrost gospodarczy, wytwarzanie energii elektrycznej ze źródeł nieodnawialnych, wytwarzanie energii nuklearnej	EKC występuje w państwach wytwarzających energię nuklearną
Sarkodie [2018]	17 państw afrykańskich	1971–2013	Emisja dwutlenku węgla, wskaźnik urodzeń, konsumpcja energii, wskaźnik dzietności, PKB *per capita*, ślad ekologiczny (*ecological footprint*), rolnictwo	Badania potwierdziły istotność hipotezy EKC oraz dwukierunkowy wpływ pomiędzy emisją dwutlenku węgla i poziomem rozwoju gospodarczego
Ulucak, Bilgili [2018]	45 państw	1961–2013	Ślad ekologiczny *per capita*, PKB	Badania potwierdziły hipotezę EKC w państwach w trzech grupach dochodowych (niskich, średnich i wysokich)

Źródło: opracowanie własne.

Należy podkreślić, że wyniki, a także ich porównywalność, zależą od wyboru metody badawczej. Najczęściej w badaniach wykorzystuje się: autoregresyjne modele o rozłożonych opóźnieniach, wielowymiarowy model Toda i Yamamoto, testy Impulse-Response i przyczynowości Grangera, panelowe modele VAR, wektorowy model korekty błędem (VECM), który określa tempo powrotu badanej zmiennej do ścieżki równowagi długookresowej, czy regresję najmniejszych kwadratów. Z punktu widzenia interpretacji wyników badań ważny jest również dobór modelu odzwierciedlającego przebieg krzywej, a także przyjmujący ją jako pewien fakt ekonomii środowiska, który stanowi podstawę do dalszych badań.

Problem kumulacji zanieczyszczeń

Jeden z pierwszych modeli wpływu wzrostu gospodarczego na jakość środowiska zaproponował Lopez [1994]. Autor bada wpływ zużycia zasobów środowiska na funkcję R dochodu narodowego, a także wpływ tego czynnika na funkcję dobrobytu społecznego (*social welfare*) μ. Lopez rozpatruje relacje wzrostu gospodarczego, polityki handlu zagranicznego (liberalizacji handlu) oraz degradacji środowiska w modelu neoklasycznym małej gospodarki.

Zakłada, że gospodarkę tworzą dwa sektory przemysłu, którym odpowiadają – neoklasycznie rozumiane – funkcje produkcji, w przypadku których kwestie środowiskowe nie odgrywają żadnej roli:

$$f^i = f^i(K_i, L_i; t),\ \mathrm{i}=1, 2,$$

gdzie K_i oraz L_i są kapitałem i pracą zaangażowanymi w przemysł o indeksie i, natomiast t wskazuje na zastosowaną technologię. Ponadto zakłada się, że f^i są rosnące i jednorodne względem K_i oraz L_i.

Następnie autor wprowadza rozszerzone funkcje produkcji uwzględniające środowisko jako jeden z czynników produkcji, wykorzystujące f^i jako jeden z argumentów:

$$y_i = G^i\left(f^i(K_i, L_i; t), x_i, \tau\right), \text{ i}=1,2,$$

gdzie x_i oznacza zużycie środowiska przez gałąź i. Funkcje G^i są rosnące i wklęsłe względem f^i oraz x_i. Parametr τ odnosi się do technologii; zmiany wartości tego parametru wskazują na zmiany krańcowego stosunku, w jakim odbywa się substytucja pomiędzy f^i a x_i, czyli pomiędzy standardowymi czynnikami produkcji a czynnikiem środowiskowym. O funkcjach G^i Lopez zakłada, że są jednorodne względem f^i oraz x_i.

Funkcja dochodu jest zdefiniowana następująco:

$$R\left(p; f(K, L, t), x; \tau\right)=$$

$$= \max_{K_i, L_i, x_i}\left\{\sum_i p_i G^i\left(f^i(K_i, L_i; t)\right), x_i; \tau) : \sum_i K_i = K,\ \sum_i L_i = L,\ \sum_i x_i = x\right\}$$

W powyższej zależności $p = (p_1, p_2)$ jest wektorem cen. Funkcja R jest oczywiście jednorodna względem p, a ponadto ze względu na przyjmowane przez autora założenie, że model dotyczy małej otwartej gospodarki, wektor p jest stały.

Wielkości K, L *i* x reprezentują odpowiednio: całkowity kapitał, całkowitą pracę oraz całkowite zużycie środowiska. Ta ostatnia wielkość może być mierzona na przykład poziomem sumarycznych emisji toksycznych substancji. Ponadto, autor przyjmuje, że $f = f_1 + f_2$ jest zagregowaną funkcją produkcji obu gałęzi gospodarki w tradycyjnym neoklasycznym ujęciu. Ze względu na założenie, że gospodarka charakteryzuje się stałymi przychodami względem skali, R jest funkcją jednorodną względem K, L i x.

Lopez definiuje też funkcję dobrobytu społecznego

$$\mu = \mu\left(R\left(p; f(K, L, t), x; \tau\right), x, p\right).$$

Jest ona rosnąca i wklęsła względem R i malejąca względem x. Następnie maksymalizuje tę funkcję, by otrzymać optymalną wartość x.

Lopez poddaje pod dyskusję dwa przypadki: 1) gdy biodegradacja zanieczyszczeń środowiskowych następuje natychmiastowo oraz 2) gdy zanieczyszczenia bądź inne efekty degradacji środowiska (jak deforestracja) kumulują się i w ten sposób oddziałują dalej na procesy produkcji.

Analiza przypadku 1) prowadzi autora do odmiennych wniosków w zależności od założeń dotyczących preferencji gospodarstw domowych oraz problemu internalizacji kosztów środowiskowych przez przedsiębiorstwa.

Jeśli przedsiębiorstwa nie ponoszą żadnych opłat środowiskowych lub ponoszą koszty stałe oraz funkcja R jest liniowo jednorodna względem f oraz x, to stosunek x / f zależy jedynie od p, τ oraz ceny zanieczyszczeń q ustalonej arbitralnie na podstawie decyzji rządu. Zatem, przy ustalonym poziomie cen p, technologii τ oraz opłat związanych z degradacją środowiska q, wzrost f powoduje proporcjonalnie taki sam wzrost poziomu zanieczyszczeń x.

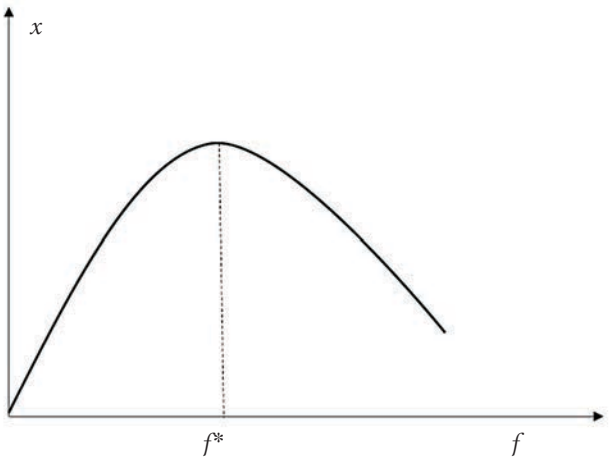
Jeżeli natomiast producenci płacą realne koszty krańcowe zanieczyszczeń, a ponadto preferencje są jednorodne, stosunek x / f zależy jedynie od p i τ, czyli przy niezmienności tych parametrów, wzrost neoklasycznie rozumianej funkcji f prowadzi do proporcjonalnie podobnego wzrostu poziomu zanieczyszczeń.

W sytuacji, gdy preferencje nie są jednorodne, w rozważaniach pojawia się środowiskowa krzywa Kuznetsa, a mianowicie, tzw. współczynnik Frischa:

$$a = -\mu_{11} R / \mu_1$$

będący funkcją f ma tę własność, że jeśli $a'(f) > 0$, to zależność pomiędzy dochodami a zanieczyszczeniami wyraża się krzywą, której wykres ma kształt odwróconej litery U.

Rysunek 2. Maksimum środowiskowej krzywej Kuznetsa



Źródło: opracowanie własne.

Krzywa ta osiąga maksimum dla $f^* = a^{-1}(1/\sigma)$, gdzie σ jest elastycznością substytucji pomiędzy wkładami w produkcję powodującymi zanieczyszczenia i niepowodującymi zanieczyszczeń.

Przypadek 2) akumulacji zanieczyszczeń jest złożony. Jego analiza i konkluzje zależą w głównej mierze od tego, czy producenci internalizują koszty

środowiskowe. Jeśli tak jest, autor pokazuje, że liberalizacja handlu w przypadku typowego kraju rozwijającego się prowadzi do zmniejszenia poziomu zanieczyszczeń zarówno w krótkim, jak i długim okresie.

Dochodowa elastyczność popytu na jakość środowiska

Kolejny z wybranych modeli wywodzi się z mikroekonomii – zasadniczą rolę w oddziaływaniu na jakość środowiska odgrywa w nim popyt. W tym przypadku wzrost dochodu może wpływać na poprawę jakości środowiska na kilka sposobów. Przede wszystkim wzrost dochodu zwiększa popyt konsumentów na wysoką jakość środowiska oraz zaangażowanie sektora publicznego w jego poprawę. Ponadto w państwach o wyższych dochodach występuje większa świadomość społeczna konieczności ochrony środowiska, która wynika m.in. z dobrze rozwiniętego systemu szkolnictwa. Inny istotny czynnik, któremu zazwyczaj towarzyszy wzrost dochodów, to zmiany strukturalne w gospodarce, z którymi związane są zmiany technologii na bardziej przyjazne środowisku [Shahbaz, Sinha, 2018]. Wymienione czynniki w zasadniczy sposób wpływają na popyt na jakość środowiska.

McConnell [1997] zapoczątkował serię publikacji prezentujących proste statyczne modele eksplikujące rolę dochodowej elastyczności popytu na jakość środowiska jako tego czynnika, który w głównej mierze wpływa na kształt krzywej Kuznetsa. Autor rozpatruje gospodarstwo domowe o nieskończonej długości życia. Źródłem zanieczyszczenia P jest konsumpcja C; poziom zanieczyszczenia jest obniżony przez wydatki A (wyrażone w jednostkach konsumpcji). Stąd wynika, że:

$$P = P(C, A),$$

przy czym pochodne cząstkowe pierwszego rzędu spełniają warunki $P_C > 0$, $P_A < 0$, natomiast pochodne cząstkowe rzędu drugiego spełniają warunki $P_{CC} > 0$, $P_{AA} > 0$ (czyli P jest funkcją wypukłą zmiennej C i zmiennej A) oraz $P_{AC} = 0$.

Funkcja użyteczności ma postać

$$U = U(C, P),$$

gdzie $U_C > 0$, $U_P \leq 0$, $U_{CC} < 0$, $U_{PP} \leq 0$ oraz $U_{CP} = 0$.

McConnell zakłada też, że produkcja Y spełnia zależność

$$Y = C + A,$$

a następnie bada maksimum funkcji:

$$U\left(C,\ P(C, Y - C)\right),$$

co prowadzi go, przy założeniu addytywności funkcji użyteczności, do warunku

$$dP = \frac{P_C(-U_P P_{AA}) + P_A(-U_{CC} - U_P P_{CC})}{-\Delta} dY,$$

gdzie $\Delta < 0$ jest wyznacznikiem macierzy układu równań, w którym różniczka dP jest jedną z niewiadomych; układ ten powstaje w wyniku przyrównania do zera różniczki zupełnej równości $U_C + U_P(P_C - P_A) = 0$ otrzymanej dzięki metodzie Lagrange'a jako maksimum warunkowe wspomnianej wyżej funkcji $Y - C - A = 0$ przy warunku $Y - C - A = 0$.

Z powyższej zależności nie wynika jednak, że krzywa środowiskowa Kuznetsa ma wykres w kształcie odwróconej litery U w zależności od zmiany znaku dochodowej elastyczności popytu na jakość środowiska. Aby uwidocznić rolę wspomnianej elastyczności, autor artykułu rozważa kontrfaktualny przypadek funkcji użyteczności $u(c, p)$ (odmiennej od wcześniej rozważanej funkcji $U(C, P)$), w przypadku której gospodarstwo domowe nabywa dobra konsumpcyjne o unormowanej cenie równej jedności oraz nabywa jakość środowiska q o stałej cenie π_q. Użycie małych liter ma podkreślić kontrfaktualność wyobrażonej sytuacji, kiedy to gospodarstwo domowe jest w stanie redukować zanieczyszczenia poprzez zakup jakości środowiska.

Elastyczność dochodowa popytu na jakość środowiska wyraża się wzorem:

$$\frac{y}{q} \cdot \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{y}{q} \cdot \frac{\pi_q u_{cc} + u_{pc}}{\pi_q^2 u_{cc} + 2\pi_q u_{pc} + u_{pp}}.$$

Jak zauważa McConnell, ponieważ $u_{cc} < 0$ oraz podobnie $\pi_q^2 u_{cc} + 2\pi_q u_{pc} + u_{pp} < 0$, a więc o znaku elastyczności dochodowej popytu na q decyduje znak oraz wielkość u_{pc}.

Następnie autor porównuje elastyczność, wyrażoną powyższym wzorem, z wielkością występującą w liczniku we wzorze określającym zależność pomiędzy różniczkami dP i dY. Im wyższa jest elastyczność dochodowa popytu na q, tym wolniejszy jest wzrost poziomu zanieczyszczeń – w przypadku elastyczności dodatniej. Jeżeli jest ona ujemna, to wyższym jej wartościom odpowiada szybszy spadek zanieczyszczeń. Zanieczyszczenie może także spadać dla elastyczności równej zeru. Przypadek elastyczności równej jedności nie rozstrzyga o charakterze zmian poziomu zanieczyszczeń. Należy zauważyć, że znak różniczki dP zależy od preferencji jedynie za pośrednictwem u_{cc} pozostającym w związku z dochodową elastycznością popytu na jakość środowiska. Ponadto, jak zauważa McConnell, wysoka nieelastyczność krańcowej użyteczności konsumpcji zwiększa elastyczność dochodową popytu na jakość środowiska, co prowadzi do ograniczenia poziomu zanieczyszczeń.

W swoim artykule McConnell rozważa także przypadki, gdy funkcja użyteczności nie jest addytywna oraz gdy zanieczyszczenie obniża poziom produkcji. W pierwszym z wymienionych przypadków ujawnia się wpływ poziomu krańcowej szkody (*damage*) czynionej przez zanieczyszczenia. W przypadku drugim elastyczność dochodowa popytu na jakość środowiska oraz krańcowy

poziom zanieczyszczeń mogą nie mieć wpływu na przebieg środowiskowej krzywej Kuznetsa.

Do koncepcji McConnella nawiązują Andreoni i Levinson [2001], rozpatrując funkcję użyteczności postaci:

$$U(C,P) = C - zP,$$

gdzie $z > 0$ jest krańcową „nieużytecznością" (*disutility*) zanieczyszczenia P, przy czym P jest traktowane jako produkt uboczny konsumpcji jednego dobra przez jedno gospodarstwo. Autorzy przyjmują dalej, że:

$$P = C - C^{\alpha}E^{\beta},$$

gdzie E reprezentuje te zasoby, które są używane w celu obniżenia poziomu zanieczyszczeń. Zarazem obowiązuje ograniczenie dotyczące zasobów:

$$C + E = M.$$

Optymalne, czyli najmniejsze, zanieczyszczenie otrzymuje się, maksymalizując $C^{\alpha}E^{\beta}$ przy powyższym warunku ograniczającym zużycie zasobów. Wyraża się ono zależnością:

$$P^{*}(M) = \frac{\alpha}{\alpha+\beta}M - \left(\frac{\alpha}{\alpha+\beta}\right)^{\alpha}\left(\frac{\beta}{\alpha+\beta}\right)^{\beta}M^{\alpha+\beta}.$$

Jeśli $\alpha + \beta > 1$, czyli gdy technologia obniżająca poziom zanieczyszczeń wykazuje się rosnącymi efektami względem skali, krzywa $M \mapsto P^{*}(M)$ ma wykres w kształcie odwróconej litery U, tzn. taki, jaki jest przypisywany środowiskowej krzywej Kuznetsa.

Beltratti [1996] rozpatruje funkcję użyteczności pojedynczego gospodarstwa domowego postaci:

$$U = \ln C - \phi \ln P$$

oraz bada maksimum wyrażenia:

$$\int_0^{+\infty} e^{-\delta t}(\ln C - \phi \ln P)dt,\ \delta > 0,$$

odpowiadającego użyteczności w nieskończenie długim czasie. Zarazem przyjmuje, że:

$$P = K^{\beta}e^{-\gamma K} \text{ i } \dot{K} = K^{\beta} - C,\ \beta,\gamma > 0.$$

Z powyższych zależności wynika, że:

$$\frac{dP}{dK} \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} 0 \Leftrightarrow K \begin{matrix} < \\ > \end{matrix} \frac{\beta}{\gamma},$$

a zatem, gdy kapitał K rośnie, zanieczyszczenie P początkowo rośnie, a następnie spada. Ponieważ autor zakłada, że $Y = K^{\beta}$, więc podobna zależność zachodzi pomiędzy Y a P.

Do pracy Beltrattiego nawiązuje Borghesi [2000], która w swoim modelu dynamicznym przyjmuje, że w momencie t funkcja użyteczności ma postać:

$$U_t = U_t(C_t, P_t, I_t),$$

gdzie I_t symbolizuje nierówność w czasie t (C_t oraz P_t to konsumpcja i zanieczyszczenie w momencie t). Borghesi zakłada w swoim modelu, będącym rozszerzeniem modelu Beltrattiego, że:

$$P_t = bY_t + dY_{t\,t}^2,\ b > 0,\ d < 0,$$

czyli ma miejsce zależność typu środowiskowej krzywej Kuznetsa (podobne założenie czyni autorka dla relacji pomiędzy I_t oraz Y_t).

Nierówności dochodowe i środowisko przyrodnicze

We wczesnym okresie badań dotyczących krzywej Kuznetsa Boyce [1994], a także Torras i Boyce [1998], zajęli się wpływem ogólnie rozumianych nierówności społecznych, w tym nierówności dochodowych, na poziom zanieczyszczeń. W kolejnych latach problematyka ta pojawiła się w wielu publikacjach teoretycznych i empirycznych. Na przykład Magnani [2000] poddaje teoretycznej analizie i empirycznej weryfikacji relacje pomiędzy wydatkami polityki ochrony środowiska a nierównościami dochodu w wybranych państwach OECD w latach 1980–1991. Autorka dowodzi tej relacji. Bezpośrednie odniesienie do modelu i wyników badań Torrasa i Boyce'a możemy odnaleźć m.in. w pracach: Kasuga i Takaya [2017], gdzie autorzy badają hipotezę, że nierówność dochodów osłabia siłę przetargową mieszkańców wobec zanieczyszczających przedsiębiorstw i ma negatywny wpływ na jakość środowiska; Liu i in. [2018], gdzie dodatkowo położono akcent na wpływ przestrzennych nierówności dochodów na jakość środowiska w Chinach; oraz Padhan i in. [2018], gdzie poddano interesującej analizie relacje zanieczyszczenia środowiska (emisji dwutlenku węgla) i nierówności dochodów w 11 państwach[2], które mają potencjał rozwoju do stania się największymi gospodarkami w XXI wieku. Należy dodać, że wyniki badań relacji zanieczyszczenia środowiska i nierówności dochodowych nie są jednoznaczne.

Boyce w swoich pracach maksymalizuje wyrażenie:

$$\sum_i \pi_i b_i,$$

[2] Bangladesz, Egipt, Indonezja, Iran, Meksyk, Nigeria, Pakistan, Filipiny, Turcja, Korea Południowa, Wietnam.

gdzie sumowanie rozciąga się na całą populację, π_i jest współczynnikiem znaczenia społecznego (*power*), a b_i jest korzyścią netto (lub kosztem netto, jeżeli $b_i < 0$) z produkcji generującej zanieczyszczenia.

Torras i Boyce rozpatrują funkcję:

$$POL = f(Y, \pi, Z),$$

gdzie *POL* to współczynnik poziomu zanieczyszczeń, *Y* oznacza dochód *per capita*, π – podobnie jak wyżej – poziom nierówności społecznego znaczenia i władzy, a *Z* jest wektorem nieekonomicznych czynników determinujących degradację środowiska.

Zarazem autorzy zakładają, powołując się na koncepcję samego Kuznetsa wyrażoną w jego artykule *Quantitative aspects of the economics growth of nations* [1963], określoną przez nich jako nieznaną hipotezę (*unsung hypothesis)*, że π jest funkcją nierówności dochodowych *G*, dochodu *per capita Y* oraz wektora *X* niezwiązanych z dochodem czynników determinujących władzę społeczną, tzn.:

$$\pi = \pi(G, Y, X),$$

przy czym $\pi_G > 0$ oraz $\pi_Y < 0$.

Boyce [2008] w opublikowanej kilka lat później pracy zaznaczył, że większe nierówności w podziale władzy (politycznej) i dochodach (ekonomicznych) prowadzą do większej degradacji środowiska. Na przykład osoby zamożne i wpływowe uzyskują nieproporcjonalnie więcej korzyści z działalności gospodarczej, która degraduje środowisko, niż biedniejsi i mniej wpływowi (bezsilni), którzy zazwyczaj ponoszą nieproporcjonalnie więcej kosztów. Na zakończenie autor stwierdza, że nie oznacza to, iż większa równość jest panaceum na wszystkiej problemy degradacji środowiska. Sam demokratyczny podział władzy oraz egalitarny podział bogactwa nie wystarczą, aby zapobiec zagrożeniom środowiska naturalnego. Niezbędne są działania m.in. w zakresie kształtowania etyki społecznej.

Wzrost populacji i środowisko przyrodnicze

Interesujący i istotny problem zależności pomiędzy krzywą EKC a wzrostem populacji poruszają Wang, Fu i Zhang w artykule *Population growth and the environmental Kuznets curve* [2015]. Autorzy próbują odpowiedzieć na wciąż ważne pytanie z punktu widzenia kształtowania polityki społeczno-gospodarczej: jaką rolę odgrywa wzrost populacji w zmianie jakości środowiska? Jaki wpływ ma wzrost populacji na relacje odzwierciedlone środowiskową krzywą Kuznetsa? Jak wiadomo, debata na ten temat jest widoczna w literaturze od czasu ukazania się dzieła Maltusa *An essay on the principle of population, as it affects the future improvement of society* ponad dwieście lat temu. Późniejsze publikacje szkoły neomaltuzjańskiej, które ukazały się w XX w., zwracały

uwagę na problem wyczerpywania zasobów surowców naturalnych i wzrostu zanieczyszczenia środowiska naturalnego, będący skutkiem szybkiego zwiększania się liczby ludności.

Przedstawiany przez autorów model nawiązuje do klasy modeli OLG (*overlapping generations models*). Rozpatrują oni pokolenia żyjące w dwu okresach: pierwszym jako dzieci i drugim jako dorośli aktywnie uczestniczący w decyzjach rynkowych. Zakłada się, że każdy dorosły ma η dzieci, a funkcja użyteczności osoby dorosłej wyrażona jest wzorem:

$$U(c_{at}, c_{ct}, E_t) = c_{at}\left[(c_{ct}E_t)^{\eta}\right]^{\alpha},$$

gdzie c_{at} oznacza konsumpcję dorosłego, c_{ct} to konsumpcja całkowita jego dzieci, E_t jest jakością środowiska zależną od decyzji przed czasem t, natomiast $\alpha > 0$ reprezentuje stopień altruizmu (autorzy dla uproszczenia przyjmują $\alpha = 1$).

Całkowita emisja zanieczyszczeń wyraża się zależnością:

$$P_t = N_t g(z_t) f(H_{pt}),$$

gdzie N_t oznacza liczbę firm, z_t jest kapitałem ludzkim zaangażowanym w redukcję zanieczyszczeń, H_{pt} to kapitał ludzki służący produkcji, funkcja g mierzy intensywność emisji zanieczyszczeń ($g(z_t) > 0,\ g'(z_t) < 0\ ,\ g''(z_t) > 0,\ g'''(z_t) \leq 0$), f jest funkcją produkcji ($f'(H_{pt}) > 0,\ f''(H_{pt}) < 0,$).

Model prowadzący do krzywej EKC w kształcie odwróconej litery U wynika z zagadnień maksymalizacji

$$\max_{c_{at}, c_{ct}, E_t, H_{pt}, z_t} U(c_{at}, c_{ct}, E_t) = c_{at} c_{ct} E_t$$

przy warunkach $c_{at} + c_{ct} = f(H_{pt})$, $H_{pt} + z_t = H_t$, $E_t - E^* = (1-b)(E_{t-1} - E^*) - \max(0, P_t - \overline{P})$, $P_t = g(z_t) f(H_{pt})$. Autorzy przyjmują $\eta = 1$, $N_t = 1$, symbolem H_t oznaczają całkowity kapitał ludzki, natomiast H^* to poziom równowagi stabilnej, do której samorzutnie, ze współczynnikiem $b \in (0;1)$, dąży E_t; $\overline{P}$ z kolei to maksymalny poziom zanieczyszczeń, które mogą być zaabsorbowane przez środowisko.

Wang, Fu oraz Zhang [2015] dzielą następnie horyzont czasu na trzy przedziały. W pierwszym z nich kapitał ludzki jest na bardzo niskim poziomie, a zanieczyszczenie nie przekracza $\overline{P}$. W przedziale drugim kapitał ludzki ulega powiększeniu oraz emisje przekraczają możliwości absorpcji przez środowisko. Ostatni przedział czasu wiąże się z wdrożeniem technologii obniżających poziom zanieczyszczeń, E_t dąży do naturalnej równowagi E^*. Autorzy, wykorzystując model, przeprowadzają symulację wpływu wzrostu populacji na kształt środowiskowej krzywej Kuznetsa. Wyniki symulacji wskazują, że wzrost populacji powoduje, iż krzywa staje się bardziej stroma, a punkt maksimum przesuwa się wyżej. Natomiast badania empiryczne przeprowadzone w prowincjach chińskich pokazują, że wzrost liczby ludności ma ograniczony wpływ na emisję zanieczyszczeń.

Liberalizacja handlu i jakość środowiska

Kolejna z omawianych grupa modeli dotyczy relacji liberalizacji handlu i jakości środowiska. Badania w tym zakresie należą do jednych z najważniejszych w kształtowaniu międzynarodowej polityki ochrony środowiska. Warto zwrócić uwagę na to, że liberalizacja, a szerzej globalizacja, zwiększyła zagrożenie zjawiskiem przenoszenia przez lepiej rozwinięte gospodarki produkcji zanieczyszczającej środowisko do innych państw, z czym jest związana m.in. szeroko omawiana w literaturze hipoteza *pollution haven hypothesis* (hipoteza schronienia przed zanieczyszczeniem) oraz zjawisko *carbon leakage* (wyciek węgla). Na tego typu zagrożenia zwraca uwagę wielu badaczy, m.in. Martinez-Zarzoso et al. [2017], Dinda [2006] oraz Khanna i Plassmann [2004]. Należy dodać, że w ostatnich latach dość często z liberalizacją handlu (otwartością gospodarki) związana jest problematyka konsumpcji energii oraz rozwoju rynku finansowego. Tego zagadnienia dotyczą na przykład prace Amriego [2018], Saidiego i Mbareka [2017], Kyophilavonga i in. [2015] oraz Shahbaza i in. [2014].

Problem środowiskowej krzywej Kuznetsa w kontekście liberalizacji handlu podejmują także Copeland oraz Taylor [2004] w swoim artykule *Trade, Growth and the Environment*. Autorzy tej obszernej, ponad 60-stronicowej, pracy zależność funkcyjną pomiędzy dochodami *per capita* a stopniem degradacji środowiska umieszczają w szerszym kontekście badań dotyczących relacji pomiędzy trzema elementami: handlem zagranicznym, wzrostem gospodarczym a stanem środowiska. Wspomniana relacja jest konsekwencją m.in. polityki środowiskowej oraz polityki odnoszącej się do liberalizacji handlu w krajach uczestniczących w globalnej wymianie.

Copeland i Taylor traktują jakość środowiska jako dobro normalne, a punktem wyjścia ich rozważań jest konstrukcja modelu statycznego podażowo-popytowego dla tego dobra. W modelu symbolem z oznaczony jest poziom zanieczyszczeń, symbolem τ wielkość opłat za zanieczyszczenia (rozumianych bądź jako podatki lub jako ceny zezwoleń emisyjnych), symbolem G (p,K,L,z) produkcja krajowa, gdzie p oznacza cenę dobra powodującego zanieczyszczenie z, natomiast K i L oznaczają całkowite zasoby kapitału i pracy potrzebne do wytworzenia G. Model ten opiera się na równości:

$$\frac{\partial G(p, K, L, z)}{\partial z} = N \cdot MD(p, R, z),$$

której lewa strona reprezentuje popyt na zanieczyszczenia, a prawa jest równa całkowitej podaży zanieczyszczeń, bowiem N symbolizuje liczbę konsumentów, a MD – marginalną szkodę środowiskową powodowaną przez przeciętnego konsumenta; MD jest funkcją trzech zmiennych, przy czym zmienna R oznacza realny dochód przeciętnego konsumenta. Powyższa równość wyznacza równowagę na rynku zanieczyszczeń z uwzględnieniem efektywnej polityki środowiskowej rządu, który może albo: 1) wyznaczyć opłaty τ_0 dostosowując

do nich poziom zanieczyszczeń z, albo 2) ograniczyć poziom zanieczyszczeń do wielkości z_0 i poddać rynkowej wycenie opłatę środowiskową τ.

Szczególny kształt krzywej Kuznetsa można, zdaniem Copelanda i Taylora, wyjaśnić, odwołując się do wspomnianej wyżej koncepcji równowagi oraz jednej z czterech teorii: 1) teorii zmiennych czynników wzrostu gospodarczego, zgodnie z którą początkowo wzrost uwarunkowany jest bardziej kapitałowo, a następnie w większym stopniu opiera się na kapitale ludzkim; 2) teorii efektów wzrostu, która wskazuje na rosnącą elastyczność dochodową marginalnej szkody środowiskowej (przy założeniu neutralnego postępu technologicznego); 3) teorii zmian progowych zakładającej zmianę polityki środowiskowej na pewnym etapie rozwoju oraz 4) teorii rosnących korzyści z redukcji zanieczyszczeń.

Bardziej szczegółowe uzasadnienie koncepcji 1) opiera się na następującym rozumowaniu. Jeśli wprowadzimy oznaczenie $I = G(p, K, L, z)$, to zachodzą równości (zakłada się, że liczebność populacji N=1):

$$\hat{z} = \frac{\varepsilon_{zK}}{s_r}\hat{\mathrm{I}}$$

oraz

$$\hat{z} = \frac{\varepsilon_{zL}}{s_w}\hat{\mathrm{I}},$$

gdzie $\hat{z} = dz/z$, $\hat{\mathrm{I}} = d\mathrm{I}/\mathrm{I}$, ε_{zK} i ε_{zL} oznaczają odpowiednio elastyczność produkcji przemysłu generującego zanieczyszczenia w stosunku do zaangażowanego kapitału i pracy, natomiast s_r oraz s_w wskazują na udział kapitału i pracy w dochodzie narodowym. Ponieważ $\varepsilon_{zK} > 0$, więc oparty głównie na zastosowaniu kapitału fizycznego przemysł wraz ze wzrostem produkcji prowadzą do wzrostu poziomu zanieczyszczeń; z kolei, jako że, na mocy twierdzenia Rybczyńskiego, $\varepsilon_{zL} > 0$, więc wzrost produkcji wynikający z zaangażowania kapitału ludzkiego przyczynia się do zmniejszenia poziomu zanieczyszczeń. Ponieważ, z biegiem czasu, udział kapitału ludzkiego rośnie w relacji do kapitału fizycznego, więc poziom zanieczyszczeń – po okresie wzrostu – zaczyna spadać. W ten sposób otrzymuje się wykres środowiskowej krzywej Kuznetsa.

Koncepcja 2) opiera się na przekonaniu, że wraz ze wzrostem dochodów *per capita* rośnie popyt na czyste środowisko; zanieczyszczenie podlega wówczas zależności:

$$\frac{dz}{d\lambda} = \frac{1 - \varepsilon_{MD,R}}{\Delta},$$

gdzie λ oznacza parametr przesunięcia związany z technologią, $\Delta > 0$, a $\varepsilon_{MD,R}$ symbolizuje elastyczność dochodową krańcowych szkód środowiskowych (zakładamy tu, że liczebność populacji $N = 1$, a zmiany technologiczne mają charakter neutralny). Jeśli elastyczność jest mniejsza od jedności, to popyt na zanieczyszczenie przewyższa podaż i poziom zanieczyszczeń rośnie; gdy

$\varepsilon_{MD,R} > 1$, sytuacja jest odmienna i poziom zanieczyszczeń maleje. Konsekwencją tego jest przebieg środowiskowej krzywej Kuznetsa.

W koncepcji 3) kluczową rolę odgrywają kwestie polityki, jak również socjologii i psychologii. Mają one istotne znaczenie, lecz nie poddają się modelowaniu matematycznemu. Ujęcie 4) opiera się z kolei na prostym rozumowaniu, zgodnie z którym, jeśli korzyści skali redukcji zanieczyszczeń rosną, to rośnie także efektywność tego procesu (do tej koncepcji nawiązali Andreoni i Levinson [2001], wskazując na rosnącą opłacalność działań zmierzających do redukcji zanieczyszczeń).

Kwestia redukcji zanieczyszczenia środowiska ulega komplikacji, jeżeli rozpatruje się ją w kontekście handlu międzynarodowego. W takim przypadku należy połączyć zacytowane wyżej ujęcia z teorią przewagi komparatywnej Heckschera-Ohlina-Samuelsona i na tym teoretycznym tle zbadać dwa podstawowe zjawiska w relacjach międzynarodowych. Pierwsze z nich występuje, gdy bardziej restrykcyjna polityka środowiskowa ma wpływ na decyzje o inwestycjach i przepływach kapitału. Drugie zjawisko ma miejsce, kiedy likwidacja barier w handlu międzynarodowym przyczynia się do relokacji przemysłu generującego zanieczyszczenia.

Copeland i Taylor rozpatrują dwa przypadki: 1) sztywnej polityki środowiskowej opartej na ograniczeniach intensywności emisji lub na stałych opłatach emisyjnych oraz 2) polityki elastycznej wobec zmiennych regulacji w handlu międzynarodowym. W przypadku 1), gdy ustalone są dopuszczalne intensywności emisji, efekt kompozycji jako dominujący sprawia, że jeśli kraj ma przewagę komparatywną w zakresie czystego przemysłu, to zwiększa się on wraz z liberalizacją handlu; to samo dotyczy przewagi komparatywnej dotyczącej przemysłu generującego zanieczyszczenia. Jeśli natomiast ustalona jest podaż pozwoleń na emisję, zarówno eksport, jak i import „brudnego" dobra powoduje dostosowanie cen pozwoleń, natomiast poziom zanieczyszczeń nie ulegnie zmianie. Zachowanie rynku jest w tym przypadku zdominowane przez efekt techniczny. W przypadku 2), gdy rząd decyduje się na politykę elastyczną, liberalizacja handlu wywołuje dwa efekty: dochodowy i substytucyjny. Ich łączne oddziaływanie powoduje redukcję zanieczyszczeń, gdy następuje import „brudnych" dóbr. W przypadku eksportu takich dóbr ostateczny wynik dla środowiska zależy od elastyczności dochodowej marginalnej szkody środowiskowej; gdy jest ona mała, zanieczyszczenie rośnie, a gdy jest duża – zanieczyszczenie spada.

Podsumowanie

W artykule dokonano przeglądu wybranych ekonomicznych modeli środowiskowej krzywej Kuznetsa, które uwzględniają zjawiska konstytutywne dla współczesnej gospodarki. Wybrane modele uwzględniają problem kumulacji zanieczyszczenia środowiska oraz relacje pomiędzy stanem środowiska naturalnego a: dochodową elastycznością popytu na jakość środowiska; ogólnie

rozumianymi nierównościami społecznymi; wzrostem populacji oraz liberalizacją handlu. Zestawienie modeli umożliwia odpowiedź i jednocześnie podpowiedź dla badaczy, w jaki sposób zmiana poziomu rozwoju gospodarczego może wpływać na degradację albo poprawę jakości środowiska, oraz jakie inne czynniki – związane pośrednio z poziomem rozwoju gospodarczego – mogą mieć istotny wpływ na omawianą relację? Odpowiedź na to pytanie wymaga przeglądu literatury z ostatnich kilkudziesięciu lat, kiedy to zainteresowanie tą problematyką systematycznie rosło.

Z przeprowadzonych studiów literatury wiemy, że istotne dla wyniku badań hipotezy środowiskowej krzywej Kuznetsa i ich interpretacji są dokładne charakterystyki z jednej strony procesu degradacji środowiska, czyli rozróżnienie pomiędzy czynnikami natychmiastowej degradacji środowiska a zanieczyszczeniami kumulującymi się w czasie, oraz z drugiej strony dochodu (PKB *per capita*), który określa poziom rozwoju gospodarczego danego obszaru gospodarczego. W przypadku dochodu należy zwrócić uwagę na kilka aspektów:

- po pierwsze, na dochodową elastyczność popytu na jakość środowiska, która może oddziaływać na jego poprawę na kilka sposobów. Gdy jest ona dodatnia i rośnie, to poziom zanieczyszczeń także rośnie, lecz coraz wolniej, natomiast ujemna elastyczność powoduje spadek zanieczyszczeń, tym szybszy, im bliższe zera są wartości elastyczności. Należy dodać, że w państwach o wyższych dochodach zasadniczo występuje większa świadomość społeczna konieczności ochrony środowiska, z czym wiąże się większy popyt konsumentów na wysoką jakość środowiska oraz zaangażowanie sektora publicznego w jego poprawę.
- po drugie, na nierówności dochodowe, które mogą osłabiać siłę przetargową mieszkańców wobec zanieczyszczających przedsiębiorstw i w ten sposób mieć negatywny wpływ na jakość środowiska. Dlatego też większe nierówności w podziale władzy (politycznej) i dochodach (ekonomicznych) mogą prowadzić do większej degradacji środowiska.
- po trzecie, na wzrost populacji, który w ujęciu teoretycznym może przyspieszać proces degradacji środowiska oraz zwiększać maksimum (krzywa ma bardziej stromy przebieg, a punkt maksimum przesuwa się w górę). Co ważne, badania empiryczne wykazują, że wzrost liczby ludności ma ograniczony wpływ na emisję zanieczyszczeń.

Należy dodać i podkreślić, że badając relacje określone środowiskową krzywą Kuznetsa w danym państwie, nie można pominąć oddziaływania otoczenia międzynarodowego. Jego dość złożony wpływ na degradację środowiska przedstawia opisany w artykule model Copelanda i Taylora. Zaprezentowane wyniki badań w tym obszernym zakresie można potraktować jako wprowadzające do współczesnego wszechstronnego ujęcia relacji pomiędzy poziomem dochodu a stanem środowiska naturalnego. W ostatnich latach, oprócz wymienionych w niniejszym artykule związków, pojawiły się prace uwzględniające modele nawiązujące do konsumpcji energii (na przykład ze źródeł odnawialnych i nieodnawialnych), rozwoju rynku finansowego oraz

eksponujące rolę polityki fiskalnej w przeciwdziałaniu degradacji środowiska. Tak więc badania opisywanej relacji powinny uwzględniać jej wielowymiarową i złożoną naturę.

Najbliższe lata wydają się niezwykle istotne dla kształtowania krajowej i międzynarodowej polityki ochrony środowiska. Ich geograficzny zasięg obejmuje zarówno kraje wysoko rozwinięte, rozwijające się, jak i kraje tzw. trzeciego świata. Wynikająca z procesu globalizacji intensyfikacja relacji pomiędzy tymi krajami zmieniła podejście do kształtowania polityki gospodarczej, która powinna stawać się coraz bardziej umiędzynarodowiona. Jednak ten kierunek badań jest wciąż mało rozwinięty, choć pierwsze prace z tego zakresu dotyczyły właśnie międzynarodowych aspektów eksploatacji środowiska naturalnego w tworzącej się Północnoamerykańskiej Strefie Wolnego Handlu w pierwszej połowie lat 90. XX w. Zatem wydaje się ważne upowszechnienie tej problematyki również w literaturze polskiej.

Bibliografia

Allard A., Takman J., Uddin G.S., Ahmed A. [2018], The N-shaped environmental Kuznets curve: an empirical evaluation using a panel quantile regression approach, *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 25, no. 6: 5848–5861.

Alvarez-Herranz A., Balsalobre-Lorente D. [2015], Energy Regulation in the EKC Model with a Dampening Effect, *J Environ Anall Chem*, vol. 2, no. 3: 1–10.

Amri F. [2018], Carbon dioxide emissions, total factor productivity, ICT, trade, financial development, and energy consumption: testing environmental Kuznets curve hypothesis for Tunisia, *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 25, no. 33: 33691–33701.

Andreoni J., Levinson A. [2001], The simple analytics of the environmental Kuznets curve, *Journal of Public Economics*, vol. 80: 269–286.

Antonakakis, N., Chatziantoniou, I., Filis, G. [2017], Energy consumption, CO_2 emissions, and economic growth. An ethical dilemma, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, no. 68 (Part 1): 808–824.

Beltratti A. [1996], *Models of economic growth with environmental assets*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Borghesi S. [2000], Inequality, Growth and the Environment: A Steady-State Analysis of the Kuznets Curve and the Environmental Kuznets Curve, *SSRN Electronic Journal*, no. 290: 1–29.

Boyce J.K. [1994], Inequality as a cause of environmental degradation, *Ecological Economics*, vol. 11, no. 3: 169–178.

Boyce J.K. [2008], Is inequality bad for the environment? w: R.C. Wilkinson, W.R. Freudenburg (red.), *Equity and the Environment*, Elsevier, London: 267–288.

Churchill, S.A., Inekwe, J., Ivanovski, K., Smyth, R. [2018], The Environmental Kuznets Curve in the OECD: 1870–2014, *Energy Economics*, *75* (C): 389–399.

Copeland B.R., Taylor M.S. [2004], Trade, Growth, and the Environment, *Journal of Economic Literature*, vol. 42, no. 1: 7–71.

Dinda S. [2006], Globalization and Environment: Can Pollution Haven Hypothesis alone explain the impact of Globalization on Environment? *Munich Personal RePEc Archive*.

Grossman G.M., Krueger A.B. [1991], Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement, *NBER Working Paper Series*, no. 39.

Heidari, H., Katircioglu, S.T., Saeidpour, L. [2015], Economic growth, CO_2 emissions, and energy consumption in the five ASEAN countries, *Electrical Power and Energy Systems*, no. 64: 785–791.

Heil, M.T., Selden, T.M. [2001], Carbon emissions and economic development: future trajectories based on historical experience, *Environment and Development Economics*, no. 6: 63–83.

Kaika D., Zervas E. [2013], The Environmental Kuznets Curve (EKC) theory. Part A Concept, causes and the CO_2 emissions case, *Energy Policy*, vol. 62: 1392–1402.

Kaika D., Zervas E. [2013], The environmental Kuznets curve (EKC) theory. Part B Critical issues, *Energy Policy*, vol. 62: 1403–1411.

Kais, S., Sami, H. [2016], An econometric study of the impact of economic growth and energy use on carbon emissions. Panel data evidence from fifty eight countries, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, no. 59 (C): 1101–1110.

Kasuga H., Takaya M. [2017], Does inequality affect environmental quality? Evidence from major Japanese cities, *Journal of Cleaner Production*, no. 142: 3689–3701.

Khanna N., Plassmann F. [2004], The demand for environmental quality and the environmental Kuznets Curve hypothesis, *Ecological Economics*, vol. 51, no. 3–4: 225–236.

Kuznets S. [1955], Economic growth and income inequality, *American Economic Review*, vol. 45, no. 1: 1–28.

Kuznets S. [1963], Quantitative Aspects of the Economic Growth of Nations: VIII. Distribution of Income by Size, *Economic Development and Cultural Change*, vol. 11, no. 2: 1–80.

Kyophilavong P., Shahbaz M., Anwar S., Masood S. [2015], The energy-growth nexus in Thailand: Does trade openness boost up energy consumption? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 46: 265–274.

Lau L.-S., Choong C.-K., Ng C.-F., Liew F.-M., Ching S.-L. [2018], Is nuclear energy clean? Revisit of Environmental Kuznets Curve hypothesis in OECD countries, *Economic Modelling*, no. 77: 12–20.

Lieb C.M. [2004], The Environmental Kuznets Curve and Flow versus Stock Pollution: The Neglect of Future Damages, *Environmental Resource Economics*, vol. 29: 483–506.

Liu Q., Wang S., Zhang W., Li J., Kong Y. [2018], Examining the effects of income inequality on CO2 emissions Evidence from non-spatial and spatial perspectives, *Applied Energy*, vol. 236: 163–171.

Lopez R. [1994], The Environment as a Factor of Production: The Effects of Economic Growth and Trade Liberalization, *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 27: 163–184.

Magnani E. [2000], The Environmental Kuznets Curve, environmental protection policy and income distribution, *Ecological Economics*, vol. 32: 431–443.

Martinez-Zarzoso I., Vidovic M., Voicu A.M. [2017], Are the Central East European Countries Pollution Havens? *Journal of Environment Development*, vol. 26, no. 1: 25–50.

McConnell K.E. [1997], Income and the demand for environmental quality, *Environment and Development Economics*, vol. 2, no. 2: 383–399.

Özokcu S., Özdemir Ö. [2017], Economic growth, energy, and environmental Kuznets curve, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 72: 639–647.

Pablo-Romero P.M., Sánchez-Braza, A. [2017], Residential energy environmental Kuznets curve in the EU-28, *Energy*, vol. 125: 44–54.

Padhan H., Haouas I., Sahoo B., Heshmati A. [2018], What Matters for Environmental Quality in the Next-11 Countries: Economic Growth or Income Inequality? *Discussion Paper Series IZA*: 1–26.

Panayotou T. [1993], Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development, Working Paper No. 992927783402676, International Labour Organization, Geneva.

Roca, J., Padilla, E., Farre, M., Galletto, V. [2001], Economic growth and atmospheric pollution in Spain: discussing the environmental Kuznets curve hypothesis, *Ecological Economics*, no. 39: 85–99.

Saidi K., Ben Mbarek M. [2017], The impact of income, trade, urbanization, and financial development on CO2 emissions in 19 emerging economies, *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 24, no. 14: 12 748–12 757.

Sarkodie, S.A. [2018], The invisible hand and EKC hypothesis: what are the drivers of environmental degradation and pollution in Africa? *Environmental Science and Pollution Research*, no. 25: 21 993–22 022.

Shafik N., Bandyopadhyay S. [1992], Economic growth and environmental quality: time-series and cross-country evidence, *World Bank Publications*, vol. 904.

Shahbaz M., Nasreen S., Ling C.H., Sbia R. [2014], Causality between trade openness and energy consumption: What causes what in high, middle and low income countries, *Energy Policy*, vol. 70: 126–143.

Shahbaz M., Sinha A. [2018], Environmental Kuznets Curve for CO2 Emission: A Literature Survey, *Munich Personal RePEc Archive*.

Stern D.I. [2004], The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve, *World Development*, vol. 32, no. 8: 1419–1439.

Stern, D.I., Common, M.S. [2001], Is There and Environmental Kuznets Curve for Sulfur? *Journal of Economics and Management*, no. 41: 162–178.

Torras M., Boyce J.K. [1998], Income, inequality, and pollution: a reassessment of the environmental Kuznets Curve, *Ecological Economics*, vol. 25: 147–160.

Ulucak, R., Bilgili, F. [2018], A reinvestigation of EKC model by ecological footprint measurement for high, middle and low income countries, *Journal of Cleaner Production*, no. 188: 144–157.

Wang S.X., Fu Y.B., Zhang Z.G. [2015], Population growth and the environmental Kuznets curve, *China Economic Review*, vol. 36: 146–165.

Zaman, K., Moemen, M.A.-E. [2017], Energy consumption, carbon dioxide emissions and economic development. Evaluating alternative and plausible environmental hypothesis for sustainable growth, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, no. 74: 1119–1130.

Theoretical reconstruction of the environmental Kuznets curve

Abstract: The aim of the article is to review the economic environmental models of the Kuznets curve, which take into account constitutive phenomena of the contemporary economy. Reviewing the models, we answer the question how the change in the level of economic development, measured by the value of GDP per capita, may affect the degradation or improvement of the quality of the environment, and what other factors – related indirectly to the level of economic development – can have a significant impact on the discussed relationship. Combination of various models is an attempt to multi-dimensional characterization of this problem, which allows defining a broader scope of research on this relationship and can contribute to a better understanding of its structural aspects. As a result of our study we state that relevant to verification of the environmental Kuznets curve hypothesis are precise characteristics of the environmental degradation process on the one hand, that is the distinction between the pollution stock and flow, and on the other hand – the exact characteristics of several factors related to income (GDP per capita): income elasticity of demand for environmental quality; social inequalities; population growth; as well as trade liberalization.

Keywords: environmental Kuznets curve, environmental economics

JEL classification codes: F64, O44, Q56

Article submitted February 7, 2019, accepted for publication July 10, 2019.

Unless stated otherwise all the materials are available under the Creative Commons Attribution 4.0 International license. Some rights reserved to the SGH Warsaw School of Economics.