



Artykuł

Czy istnieje środowiskowa krzywa Kuznetsa?

Międzynarodowe badanie

Nutnaree Maneejuk¹, Sutthipat Ratchakom¹, Paravee Maneejuk^{2,*} i Woraphona Yamaki² ¹ Wydział Ekonomii, Uniwersytet w Chiang Mai, Chiang Mai 50200, Tajlandia; n.elayq@live.com (NM); donut_money@hotmail.com (SR)² Centrum Doskonałości w Ekonometrii, Wydział Ekonomii, Uniwersytet w Chiang Mai, Chiang Mai 50200, Tajlandia; woraphon.econ@gmail.com * Korespondencja: mparavee@gmail.com

Otrzymano: 11 września 2020 r.; Zaakceptowano: 30 października 2020 r.; Opublikowano: 2 listopada 2020 r.



Streszczenie: Celem badania jest zbadanie związku pomiędzy rozwojem gospodarczym a degradacją środowiska w oparciu o hipotezę środowiskowej krzywej Kuznetsa (EKC). Poziom emisji CO₂ wykorzystuje się jako wskaźnik szkód w środowisku w celu ustalenia, czy większy wzrost gospodarczy może zmniejszyć degradację środowiska zgodnie z hipotezą EKC. Badanie przeprowadzono na ośmiu głównych międzynarodowych wspólnotach gospodarczych obejmujących 44 kraje na całym świecie. Zależność pomiędzy wzrostem gospodarczym a stanem środowiska oszacowano za pomocą modelu regresji z autokorelacją, który identyfikuje punkt zwrotny zmiany tej zależności.

Wyniki wskazują, że hipoteza EKC jest aktualna jedynie w trzech z ośmiu międzynarodowych wspólnot gospodarczych, a mianowicie w Unii Europejskiej (UE), Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD) oraz Grupie Siedmiu (G7). Ponadto interesujące wyniki uzyskano po włączeniu czterech innych zmiennych kontrolnych do modelu estymacyjnego dla grup krajów w celu wyjaśnienia wpływu na jakość środowiska. Stwierdzono, że rozwój finansowy (FIN), sektor przemysłowy (IND) i urbanizacja (URB) prowadzą do wzrostu emisji CO₂, podczas gdy energie odnawialne (RNE) wydają się ograniczać degradację środowiska. Ponadto, gdy dalej badaliśmy istnienie hipotezy EKC w konkretnym kraju, wyniki pokazały, że hipoteza EKC jest ważna tylko w 9 z 44 poszczególnych krajów.

Słowa kluczowe: Środowiskowa krzywa Kuznetsa; załamanie modelu; Rozwój gospodarczy; środowisko

1. Wstęp

Od czasu rewolucji przemysłowej na początku XIX wieku sektor produkcyjny stał się głównym motorem rozwoju gospodarczego wielu krajów. Wykorzystanie maszyn i środków technologicznych w procesie produkcyjnym spowodowało o niezwykłą i głęboką zmianę w działalności gospodarczej ludzi w niegdyś rolniczych społeczeństwach, co doprowadziło do niespotykanego szybkiego wzrostu gospodarczego. Jednakże wzrost gospodarczy oparty na przemyśle spowodował problemy związane z degradacją środowiska, a połączenie działalności przemysłowej w globalnej mierze przyczyniło się do globalnego ocieplenia. Według raportu Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (IPCC) z 2018 r. średnia temperatura powierzchni świata wzrosła o około 0,87 °C w porównaniu z poziomem z końca XIX wieku, a ekstrema klimatyczne i pogodowe występują coraz poważniej w miarę wzrostu globalnej temperatury o 0,5 °C.

Problemy te są powodowane przez gazy cieplarniane uwalniane w wyniku działalności antropogenicznej, które wywierają wpływ na środowisko i środowisko w postaci bardziej kapryśnej pogody, większej dotkliwości klęsk żywiołowych, skrajnej suszy w wielu regionach, podnoszącego się poziomu morza w wyniku topnienia polarnych czap lodowych, mutacji i wymierania niektórych żywych gatunków oraz pogorszenia zdrowia ludzkiego [1].

Jednakże hipoteza środowiskowej krzywej Kuznetsa (EKC) dotycząca związku między dochodem na mieszkańca a degradacją środowiska zakłada, że na wczesnych etapach wzrost gospodarczy będzie szkodliwy dla środowiska ze względu na wzrost aktywności gospodarczej [2], ale później, gdy gospodarka rozwine się do odpowiedniego poziomu, przywrócona zostanie dotychczasowa jakość środowiska, co wskazuje, że związek wzrostu i środowiska ma punkt zwrotny. Koncepcja EKC jest zmodyfikowanym zastosowaniem teorii krzywej odwróconego U dotyczącej związku pomiędzy wzrostem gospodarczym a nierównością dochodów autorstwa [3].

Ostatnio powstało mnóstwo prac badawczych potwierdzających teorię EKC, np. prace [4–6]. Chociaż w badaniach tych do szacowania degradacji środowiska wykorzystywane są różne zmienne i metody, ich ustalenia potwierdzają hipotezę, że degradacja środowiska będzie się stabilizować w miarę zbliżania się rozwoju gospodarczego do punktu zwrotnego. Niemniej jednak wiele badań doprowadziło do odrzucenia teorii EKC, jak na przykład prace [7–9], którzy nie znaleźli – i dlatego wątpili – związku w formie krzywej U między wzrostem gospodarczym a degeneracją środowiska.

Ponieważ CO₂ jest głównym gazem cieplarnianym emitowanym w wyniku działalności człowieka, stanowiącym 76% całkowitej emisji [10], w wielu próbach badawczych opartych na teorii EKC emisję CO₂ wykorzystywano jako zmienną wskazującą poziom szkód w środowisku, jak np. z [11,12]. Jednakże niektóre prace badawcze przeprowadzone w przeszłości wykazały, że emisja CO₂ jest funkcją wielu czynników innych niż dochód i wzrost gospodarczy. Na przykład stwierdzono, że rozwój finansowy poprzez udzielanie kredytów krajowych wpływa na emisję CO₂ zarówno w kierunku negatywnym, jak i pozytywnym. Kiedy kredyt krajowy poszerza dostęp finansowy dla firm, których misją jest rozwój technologii przyjaznych środowisku lub wytwarzanie produktów przyjaznych środowisku, pomaga to w ograniczeniu przyszłej degradacji środowiska. Wręcz przeciwnie, sam rozwój finansowy na rzecz wzrostu gospodarczego może zwiększyć emisję CO₂ [13,14]. Ponadto stwierdzono, że industrializacja gospodarki narodowej zwiększa emisję CO₂ zarówno bezpośrednio, jak i pośrednio ze względu na zużycie energii w procesie produkcji przemysłowej oraz intensywne zużycie energii w innych sektorach w następstwie wzrostu gospodarczego i procesu urbanizacji [15].

Dlatego też głównym celem niniejszego badania jest potwierdzenie istnienia EKC w różnych gospodarkach świata. Do badania wybrano osiem międzynarodowych społeczności gospodarczych, w tym Stowarzyszenie Narodów Azji Południowo-Wschodniej (ASEAN), Europejskie Stowarzyszenie Wolnego Handlu (EFTA), Unia Europejska (UE), Grupa Siedmiu (G7), Rada Współpracy Zatoki Perskiej (GCC), Mercosur, Północnoamerykańskie Porozumienie o Wolnym Handlu (NAFTA) oraz Organizację Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD), aby lepiej zrozumieć, czy różne konteksty społeczno-polityczne i struktury gospodarcze różnych krajów lub bloków gospodarczych mają wpływ na istnienie EKC oraz związek pomiędzy wzrostem gospodarczym a jakością środowiska. Istnienie hipotezy EKC jest również badane na poziomie poszczególnych krajów w celu sprawdzenia odporności. Chcemy zauważyć, że te wybrane wspólnoty gospodarcze (lub 44 kraje) odpowiadają za ponad 90% światowego PKB i populacji. Oprócz sprawdzenia słuszności hipotezy EKC, badanie to ma także drugorzędny cel, jakim jest ocena wpływu innych zmiennych poza wzrostem gospodarczym na wielkość emisji CO₂.

W związku z tym, aby przetestować hipotezę EKC, w niniejszym badaniu zaproponowano zastosowanie modelu regresji zamykania do dopasowywania danych, ponieważ może on bezpośrednio uchwycić nieliniową zależność między wzrostem gospodarczym a jakością środowiska bez konieczności przekształcania danych do postaci kwadratowej, jak jest to powszechnie stosowane we wcześniejszych pracach [2,16–18]. Autorzy uważają, że estymacja funkcji kwadratowej wiąże się z nadmiernie zniekształconymi danymi i oszacowany wynik może nie odzwierciedlać właściwej zależności pomiędzy wzrostem gospodarczym a jakością środowiska. Chociaż znaczenie hipotezy EKC zostało zidentyfikowane, w [11,12,17–19] przyjmuje się zwykle funkcję kwadratową. W artykule poddano w wątpliwość założenie o funkcji kwadratowej przy użyciu regresji zamykania szeregów czasowych i regresji panelowej zamykania dla lat 1980–2016 w 44 krajach w ramach ośmiu międzynarodowych wspólnot gospodarczych oraz sprawdzano, czy wyniki na poziomie kraju sprawdzają się dla różnych społeczności jako sprawdzenie odporności.

Grossman i Krueger [2] badali wpływ wyłączenia środowiska, biorąc pod uwagę stężenie dwutlenku siarki (SO_2) i zastępek zawiesiny (SPM) w otoczeniu jako miary jakości środowiska. Odkryli zależność między tymi literami U pomiędzy PKB na mieszkańca a dwiema zmiennymi jakości środowiska. Odkryli także, że kształt tych literami U między PKB na mieszkańca a dwiema zmiennymi jakości środowiska jest podobny do hipotetyzacji środowiskowej krzywej Kuznetsa (EKC). Po przeprowadzeniu badań podjęto badania podjęte obywateli w celu badania teorii EKC przy użyciu modeli ekonometrycznych i zmianach danych szeregu czasowego. W literaturze EKC degradację środowiska wierzono, że wynika z niektórych substancji zanieczyszczających, których substancji zanieczyszczających, jak powszechnie stosowana emisja CO_2 , jak stwierdzono w badaniach Singh i Shahbaz [12] dla Indii, Pata [22] dla Turcji oraz Ahmad, Du Lu, Wang, Li, Muhammad i Hashmim [19] dla Chorwacji. Te trzy badania wykazały model autoregresyjnego rozprószonego opóźnienia (ARDL) do przetestowania hipotezy EKC. Badania wykazały, że model autoregresyjnego rozprószonego opóźnienia (ARDL) do przetestowania hipotezy EKC. Badania wykazały, że model autoregresyjnego rozprószonego opóźnienia (ARDL) do przetestowania hipotezy EKC. Badania wykazały, że model autoregresyjnego rozprószonego opóźnienia (ARDL) do przetestowania hipotezy EKC. Badania wykazały, że model autoregresyjnego rozprószonego opóźnienia (ARDL) do przetestowania hipotezy EKC.

Metoda Augmented Mean Group (AMG) dostarcza dowodów potwierdzających w 30 stanach, podczas gdy zastosowanie wspólnego estymatora grupy średnich skorelowanych efektów (CCEMG) wskazało, że hipoteza EKC sprawdziła się tylko w 10 stanach. Aruga [18] zbadała hipotezę EKC w regionie Azji i Pacyfiku, korzystając z modeli regresji panelowej i kointegracji. Ujawnił, że hipoteza sprawdza się w przypadku grupy o wysokich dochodach. Wreszcie, istnienie hipotezy EKC zostało potwierdzone także w wschodzących krajach Europy Wschodniej i Azji Środkowej [23].

Jednak niektóre prace badawcze nie wykazały istnienia EKC w niektórych krajach. Pal i Mitra [24] wykorzystali model ARDL do badania zależności między PKB na mieszkańca a emisją CO₂ w Indiach i Chinach, a ich wynik wskazał na obecność EKC w kształcie litery N, ponieważ emisja CO₂ najpierw rosła w większym tempie niż wzrost PKB, a następnie spadła w miarę rozwoju działalności gospodarczej, ale przestała spadać na pewnym progu, po czym ponownie wzrosła. Mikayilov, Galeotti i Hasanov [25] badali związek między wzrostem gospodarczym a emisją CO₂ w Azerbejdżanie, stosując test Autoregressive Distributed Lag Bounds Testing (ARDLBT), w pełni zmodyfikowaną metodą najmniejszych kwadratów (FMOLS), dynamiczną metodą najmniejszych kwadratów (DOLS) i kanoniczną regresję kointegrującą (CCR), które dostarczyły spójnych wniosków, że wzrost gospodarczy ma pozytywny związek z emisją CO₂ w postaci monotonicznie rosnącej funkcji w dłuższej perspektywie, co sugeruje, że hipoteza EKC nie sprawdza się w przypadku Azerbejdżanu. Moutinho, Varum i Madaleno [26] przetestowali hipotezę EKC dla Hiszpanii i Portugalii, wykorzystując dane z 13 głównych sektorów gospodarki, w których wartość dodana brutto (WDB) reprezentuje dochód, a emisje CO₂ odzwierciedlają degradację środowiska na potrzeby analizy przeprowadzonej przez panel skorygowanych błędów standardowych (Metoda PCSE). Znaleźli dowody na zależność w kształcie litery N między wartością dodaną brutto i emisją CO₂ w przypadku Portugalii oraz funkcję w kształcie litery N i odwróconej litery N w przypadku Hiszpanii. Oznacza to, że nastąpiło odejście od teoretycznego EKC, ponieważ wydawało się, że CO₂ zmniejsza się przez pewien czas, a następnie wzrasta i ponownie maleje zgodnie ze ścieżką wzrostu wartości dodanej brutto.

2.3. Czynniki wpływające na poziom emisji CO₂

W niektórych wcześniejszych badaniach zwracano także uwagę na inne zmienne wyjaśniające wielkość emisji CO₂ – na przykład rozwój finansowy, który pomógł obniżyć emisję CO₂ w Malezji i Republice Południowej Afryki, ponieważ otworzył różnym firmom możliwości uzyskania dostępu do większego kapitału finansowego na rzecz inwestycji w badania i rozwój czystych technologii [13,27].

Stwierdzono jednak, że w niektórych krajach rozwój finansowy sprzyja emisjom CO₂. Na przykład Pata [14] i Boutabba [28] przedstawili dowody empiryczne na pozytywny związek między rozwojem finansowym a degradacją środowiska, odpowiednio w Turcji i Indiach. Ponadto stwierdzono, że proces industrializacji ma pozytywny związek z emisją CO₂ w Chinach i Turcji ze względu na zwiększone zużycie energii na potrzeby działalności produkcyjnej w przemyśle wytwórczym [15,22].

Co więcej, literatura ujawniła również, że urbanizacja i zużycie energii odnawialnej również odgrywają zasadniczą rolę w emisji CO₂. Bilgili, Koçak i Bulut [29] oraz Saidi i Omri [30] przeanalizowali związek między zużyciem energii odnawialnej a emisją CO₂ i uzyskali podobne wyniki.

Bilgili, Koçak i Bulut [29] ponownie przeanalizowali hipotezę EKC pod kątem potencjalnego wpływu zużycia energii odnawialnej na jakość środowiska. Ustalili, że odnawialne źródła energii miały negatywny wpływ na emisję CO₂ w siedmiu krajach OECD w latach 1977–2010. Ponadto Bhattacharya, Churchill i Paramati [31] zbadały wpływ energii odnawialnych na degradację środowiska w różnych regionach gospodarczych i potwierdzili szkodliwy wpływ energii odnawialnych na emisje.

W badaniach tych wspomniano, że region mógłby osiągnąć zrównoważone środowisko poprzez zniechęcanie do wytwarzania energii z paliw kopalnych i wspieranie czystych energii, takich jak źródła energii wiatrowej, słonecznej, biomasy i geotermalnej. W wielu wcześniejszych badaniach stwierdzono, że urbanizacja zwiększa emisję dwutlenku węgla (patrz [22,32,33]). Ludzie przeprowadzają się do miast głównie dlatego, że w miastach jest więcej możliwości zatrudnienia. W wyniku urbanizacji wzrasta liczba pojazdów, co wpływa na emisję gazów cieplarnianych.

Krótko mówiąc, literatura empiryczna na temat słuszności teorii EKC nie może potwierdzić, że wzrost gospodarczy ostatecznie doprowadzi do poprawy jakości środowiska w dłuższej perspektywie we wszystkich gospodarkach. Różne metody zastosowane w badaniu mogą dać różne wyniki w celu ustalenia, czy hipoteza EKC jest prawdziwa dla konkretnego kraju. Tymczasem w niektórych pracach badawczych nie uwzględniono innych kluczowych zmiennych niezależnych, takich jak rozwój finansowy i przemiana strukturalna z gospodarki opartej na rolnictwie do gospodarki uprzemysłowionej/zurbanizowanej, co skutkuje różną skalą i kierunkami oddziaływania na środowisko w różnych gospodarkach. Aby wypełnić te luki, przeprowadziliśmy porównawcze badanie empiryczne, aby sprawdzić hipotezę EKC w 44 poszczególnych krajach na całym świecie i ośmiu głównych międzynarodowych wspólnotach gospodarczych, aby uzyskać bardziej precyzyjny pogląd na tę kwestię. Ponadto, w oparciu o przegląd literatury, większość wcześniejszych badań bada EKC przy użyciu regresji kwadratowej lub panelowej regresji kwadratowej; funkcja kwadratowa może jednak powodować poważne problemy przy określeniu typu modelu i nie odzwierciedla rzeczywistego braku związku pomiędzy zmiennymi zależnymi i niezależnymi [34]. Dlatego w naszym badaniu do testowania EKC stosuje się zarówno modele regresji szeregów czasowych, jak i modele regresji szeregów panelowych. Badamy również, czy modele regresji szeregów i panelowe modele regresji szeregów mają przewagę w porównaniu z klasycznymi modelami regresji liniowej.

3. Metodologia

Aby przeprowadzić analizę w tym badaniu, postępujemy w następujący sposób: Najpierw dla naszych zmiennych przeprowadzany jest test pierwiastka jednostkowego. Po drugie, istnienie EKC badamy w kontekście poszczególnych krajów i każdej grupy krajów, korzystając z testu szeregów Hansena [35]. Zauważamy, że w tym badaniu uwzględniono 44 kraje, które można podzielić na osiem grup lub rynków regionalnych, obejmujących ASEAN, EFTA, UE, G7, GCC, Mercosur, NAFTA i OECD. Po trzecie, modele regresji szeregów czasowych i regresji paneli szeregów szeregów są używane do badania wpływu rozwoju gospodarczego na emisję CO₂ odpowiednio dla poszczególnych krajów i grup krajów.

3.1. Model regresji szeregów czasowych

Regresję Kink zaproponował w 2017 roku Hansen [35]. Model wprowadzono w celu wyjaśnienia nieliniowej zależności pomiędzy każdą zmienną niezależną a zmienną zależną. Funkcja tego modelu jest ciągła, ale jego nachylenie ma nieciągłość w szeregach lub punkcie zwrotnym. Struktura modelu przyjmuje następującą postać:

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 (x_t - \gamma) + \beta_1^+ (x_t - \gamma)^+ + \varepsilon_t \quad (1)$$

gdzie y_t jest zmienną zależną w chwili t , x_t jest zmienną niezależną w chwili t , a ε_t oznacza błąd w chwili t . Odpowiednio parametry β_0, β_1 i β_1^+ wyraża stała γ , współczynnik $(x_t - \gamma)$, β_1 i współczynnik $x_t (x_t - \gamma)^+$. Zauważ, że x_t jest podzielone na dwie części: część ujemną, $(x_t - \gamma) = \min(x_t - \gamma, 0)$ i część dodatnią, $(x_t - \gamma)^+ = \max(x_t - \gamma, 0)$. Innymi słowy, $(x_t - \gamma)$ można rozumieć jako $x_t - \gamma$, natomiast $(x_t - \gamma)^+$ odnosi się do $x_t - \gamma$. Parametr γ nazywany jest punktem szeregów lub punktem zwrotnym. Aby oszacować wszystkie nieznane parametry tego modelu, stosujemy estymację metodą najmniejszych kwadratów w następujący sposób:

$$\beta(\gamma) = \argmin_{\beta} \sum_{t=1}^T (y_t - \beta_0 - \beta_1 (x_t - \gamma) - \beta_1^+ (x_t - \gamma)^+)^2 \quad (2)$$

Ta funkcja straty jest kwadratowa w $\beta = \beta_0, \beta_1, \beta_1^+$ ale nie wypukła w γ . Dlatego jest to wygodne dla różnych kombinacji koncentracji i wyszukiwania siatki, takiej jak:

$$\gamma = \argmin_{\gamma} \min_{\beta} \beta(\gamma) \quad (3)$$

gdzie $\beta(y)$ to współczynniki najmniejszych kwadratów danego kandydata y . Rozwiązanie równania (3) można znaleźć numerycznie poprzez przeszukiwanie siatki po y . Po znalezieniu optymalnego y możemy otrzymać β , korzystając z najmniejszych kwadratów Y_t na $(X_t - y)$ i $(X_t - y)^+$. W niniejszym badaniu zbudujemy model regresji załamania szeregów czasowych w oparciu o hipotezę EKC. Zatem musimy przepisać równanie (1) w następującej formie.

$$\ln CO2_t = \beta_0 + \beta_1 (\ln GDP_{Ct} - y) + \beta_2 (\ln GDP_{Ct} - y)^+ + \epsilon_t \quad (4)$$

gdzie $CO2_t$ to poziom emisji CO_2 , a GDP_{Ct} to realny produkt krajowy brutto na mieszkańca.

Aby zbadać istnienie EKC, możemy rozważyć znaki β_1 i β_2 . Zgodnie z naszym modelem, znak ujemny β_1 i znak dodatni β_2 potwierdzić hipotezę o istnieniu

3.2. Model regresji zagęszczenia panelu

W niniejszym badaniu zbadano także istnienie EKC w grupach krajów. W ten sposób konstruowane są dane panelowe dla każdej grupy krajów, a w celu dopasowania tych danych wykorzystuje się panelowy model regresji załamania. Model można wyrazić jako:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 (X_{it} - y) + \beta_2 (X_{it} - y)^+ + \beta_3 Z_{it} + \alpha_i + \epsilon_{it}, \quad (5)$$

gdzie Y_{it} i X_{it} są odpowiednio zmiennymi zależnymi i niezależnymi kraju i w chwili t .

Z_{it} to wektor $k \times 1$ regresora α_i reprezentujący indywidualny efekt każdego kraju, a ϵ_{it} to człon rezydualny kraju i w chwili t . Aby oszacować ten model, posługujemy się metodą estymacji efektu stałego (FE) zaproponowaną przez Zhanga, Zhou i Jianga [36]. Ponieważ α_i nie jest obserwowalne, eliminujemy α_i poprzez pominięcie zmiennych za pomocą transformacji wewnętrznej.

W ten sposób możemy przekształcić nasze zmienne w następujący sposób:

$$Y_{it} = Y_{it} - \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T Y_{it} \quad (6)$$

$$X_{it} = X_{it} - \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T X_{it} \quad (7)$$

$$Z_{it} = Z_{it} - \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T Z_{it} \quad (8)$$

$$\epsilon_{it} = \epsilon_{it} - \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \epsilon_{it} \quad (9)$$

Następnie możemy przepisać nasz model panelowy (równanie (5)) jako

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 (X_{it} - y) + \beta_2 (X_{it} - y)^+ + \beta_3 Z_{it} + \epsilon_{it}. \quad (10)$$

Następnie możemy użyć estymacji FE do oszacowania $\beta = \beta_0, \beta_1, \beta_2$ i y przez:

$$\hat{\beta}(y) = \underset{y}{\operatorname{argmin}} \sum_{t=1}^T \left(Y_{it} - \beta_0 - \beta_1 (X_{it} - y) - \beta_2 (X_{it} - y)^+ - \beta_3 Z_{it} \right)^2 \quad (11)$$

Podobnie jak w przypadku regresji załamania szeregów czasowych, funkcja straty przyjmuje postać kwadratową w β , ale nie jest różniczkowalna względem γ . Ponownie możemy zastosować wyszukiwanie siatki, aby rozwiązać ten problem minimalizacji:

$$\gamma = \underset{\gamma}{\operatorname{argmin}} \sum_{t=1}^T \gamma_{it} - \beta_0 - \beta_1 (X_{it} - \gamma) - \beta_1^+ (X_{it} - \gamma)^+ - \beta_2 Z_{it}^2 \quad (12)$$

Po uzyskaniu optymalnego γ możemy otrzymać optymalne $\beta(\gamma)$.

W tym badaniu stosujemy regresję panelową załamania, aby zbadać istnienie EKC w różnych grupach ekonomicznych. Jako zmienne kontrolne bierzemy pod uwagę również dwa dodatkowe czynniki ekonomiczne. Zatem nasz model empiryczny ma postać:

$$\ln CO2_{it} = \beta_0 + \beta_1 (\ln GDP_{Cit} - \gamma) + \beta_1^+ (\ln GDP_{Cit} - \gamma) + \beta_3 \ln FIN_{it} + \beta_4 \ln IND_{it} + \beta_5 \ln URB_{it} + \beta_6 \ln RNE_{it} + \epsilon_t \quad (13)$$

gdzie FIN_{it} to czynnik rozwoju finansowego, IND to industrializacja, URB_{it} to urbanizacja, a RNE to energie odnawialne. Zmienne te uważa się za zmienne kontrolne w tym badaniu.

Omówienie wpływu tych zmiennych kontrolnych na CO_2 przeprowadzono wcześniej w Części 2.

3.3. Testowanie efektu załamania

Ponieważ naszym celem jest ustalenie, czy EKC istnieje zarówno w poszczególnych krajach, jak i w grupach krajów, najpierw bada się nieliniową zależność między CO_2 a PKB na mieszkańca (GDPC) (lub efekt załamania) przed uzyskaniem β_1 i β_1^+ . Jeśli nie ma obecności efektu załamania związek między CO_2 a PKBC jest liniowy, w związku z czym nie możemy dopasować naszych danych za pomocą modelu regresji załamania. Aby sprawdzić obecność efektu załamania, posługujemy się statystyką F zaproponowaną przez Hansena [35]. Hipoteza zerowa dotycząca efektu załamania i hipoteza alternatywna braku efektu załamania (model liniowy) są następujące:

$$\begin{aligned} H_0: \beta_1 &= \beta_1^+ \\ H_a: \beta_1 &\neq \beta_1^+ \end{aligned} \quad (14)$$

Statystyka testowa jest typu F :

$$F_T = \frac{T \sigma^2 \sigma}{\sigma^2}, \quad (15)$$

gdzie σ^2 i σ są odpowiednio wariancjami błędów regresji liniowej i regresji załamania. Biorąc pod uwagę, że może istnieć niestandardowy rozkład testu statystyki F , Hansen [35] zasugerował użycie metody bootstrap w celu uzyskania rozkładu asymptotycznego pierwszego rzędu do testowania. Pokazał, że procedura bootstrap osiąga rozkład asymptotyczny pierwszego rzędu; zatem wartości p skonstruowane na podstawie bootstrapu są ważne asymptotycznie. Na koniec odrzucamy hipotezę zerową, jeśli wartość p tego testu metodą bootstrap jest mniejsza niż wartość krytyczna α . Innymi słowy, jeśli hipoteza zerowa zostanie odrzucona, istnieje nieliniowa zależność pomiędzy CO_2 i PKBC.

Podobną procedurę powtarza się przy badaniu efektu załamania w kontekście danych panelowych. Zauważamy, że indywidualne efekty specyficzne są usuwane z modelu danych panelowych przy użyciu metody różnicowania średnich, jak przedstawiono w części 3.2; w związku z tym przedstawione powyżej badanie efektu załamania można zastosować do regresji załamania panelu.

4. Dane i zmienne wykorzystane w badaniu

O ile pozwala na to dostępność danych, w niniejszym badaniu wykorzystano dane panelowe dotyczące ośmiu grup krajów, w tym EFTA, UE, G7, GCC, Mercosur, NAFTA, ASEAN i OECD (załącznik A, tabela A1), obejmujące okres od 2001 do 2016 r. emisje dwutlenku węgla (CO_2) jako wskaźnik degradacji środowiska i realny PKB na mieszkańca jako wskaźnik rozwoju gospodarczego. Za kluczowe uważa się również industrializację, rozwój finansowy, urbanizację i energie odnawialne

zmienne (zmienne kontrolne), które wpływają na emisję CO₂ i są uwzględnione w tej analizie. Ponadto w badaniu tym wykorzystano dane z rocznych szeregów czasowych obejmujących lata 1980–2016 dotyczące emisji CO₂ i realnego PKB na mieszkańca 44 poszczególnych krajów, które są krajami członkowskimi ośmiu grup, w tym Argentyny, Australii, Bahrajnu, Belgii, Brazylii, Brunei, Bułgaria, Kanada, Cypr, Dania, Finlandia, Francja, Grecja, Indonezja, Islandia, Włochy, Japonia, Kuwejt, Luksemburg, Meksyk, Malta, Malezja, Holandia, Norwegia, Nowa Zelandia, Oman, Filipiny, Portugalia, Paragwaj, Katar, Irlandia, Arabia Saudyjska, Singapur, Korea Południowa, Hiszpania, Szwecja, Szwajcaria, Tajlandia, Turcja, Zjednoczone Emiraty Arabskie, Wielka Brytania, Stany Zjednoczone Ameryki i Urugwaj.

Chcielibyśmy zauważyć, że wielkość próby naszych szeregów czasowych wynosi 36 obserwacji, co wystarczyłoby do oszacowania regresji załamania szeregów czasowych, ponieważ istnieją tylko cztery oszacowania parametrów (patrz Równanie (4)). Lee i Song [37] oraz Van De Schoot i in. [38] zasugerowali, że estymacja częstościowa jest nadal wiarygodna, gdy wielkość próby jest równa lub większa niż trzykrotność parametrów. Jak argumentowali Muthén i Muthén [39], jedynym sposobem uzyskania odpowiedzi na pytanie o wielkość próby jest przeprowadzenie badania symulacyjnego. Na szczęście Tarkhamtham i Yamaka [40] przeprowadzili badanie symulacyjne modelu regresji załamania i porównali różne techniki estymacji. Wykazali, że metoda najmniejszych kwadratów może dać wiarygodny wynik estymacji regresji załamania (oszacowania czterech parametrów) i niskie obciążenie, gdy wielkość próbki symulowanych danych wynosi 20. Tabela 1 opisuje zmienne użyte w badaniu.

Tabela 1. Opis zmiennych.

Zmienny	Opis	Symbol
Środowiskowy Degradacja	Degradację środowiska mierzy się za pomocą terytorialnych emisji CO ₂ , które powstają w wyniku spalania paliw kopalnych w wyniku działalności człowieka, a także procesów produkcyjnych. W naszej analizie zmienna ta jest uważana za zmienną zależną (jednostka: tony metryczne na mieszkańca).	CO2
Gospodarczy Rozwój	W tej analizie rozwój gospodarczy mierzony jest realnym PKB na mieszkańca, parytetem siły nabywczej (PPP) (stałe dolary międzynarodowe z 2011 r.), czyli wartością wszystkich towarów i usług wyprodukowanych przez kraj podzieloną przez całkowitą liczbę ludności. Zmienna ta powinna mieć pozytywny wpływ na degradację środowiska już na wczesnym etapie rozwoju. Następnie wpływ powinien stać się negatywny zgodnie z hipotezą EKC.	RODO
Budżetowy Rozwój	Rozwój finansowy uznawany jest za kolejną zmienną objaśniającą w analizie grup krajów. Zmienną tę mierzy się kredytem krajowym dla sektora prywatnego (% PKB), który odnosi się do zasobów finansowych dostarczanych sektorowi prywatnemu przez instytucje finansowe.	PIETWA
Uprzemysłowienie	Industrializacja oznacza transformację z gospodarki opartej na rolnictwie do gospodarki uprzemysłowionej. W tej analizie zmienna ta jest mierzona przez branżę z wartością dodaną (jednostka: % PKB).	IND
Urbanizacja	Ludność miejska oznacza osoby mieszkające na obszarach miejskich zgodnie z definicją krajowych urzędów statystycznych. Dane są gromadzone i wygładzane przez Wydział Ludności ONZ (jednostka: % populacji).	URB
Odnawialne energie	Do odnawialnych źródeł energii zalicza się energię wiatrową, słoneczną, biomasę i energię geotermalną. Oznacza to wszystkie źródła energii, które odnawiają się w krótkim czasie lub są stale dostępne. Energię odnawialną mierzy się jako udział w końcowym zużyciu energii (jednostka: % zużycia energii).	RNE

W tym badaniu wzięto pod uwagę zarówno dane panelowe, jak i dane szeregów czasowych, aby zbadać hipotezę EKC odpowiednio dla ośmiu głównych międzynarodowych społeczności gospodarczych i 44 krajów należących do ich społeczności. W związku z tym wykonujemy zarówno test pierwiastka jednostkowego Levina, Lin i Chu (LLC) dla paneli [41], jak i test pierwiastka jednostkowego Augmented Dicky-Fuller (ADF) dla szeregów czasowych [42] w celu analizy stacjonarności danych. Po przejściu testu stacjonarności dane można wykorzystać do estymacji za pomocą modelu regresji załamania. Badanie to składa się z dwóch głównych części: (1) testowania hipotezy EKC dla każdego z ośmiu

główne grupy krajów, a mianowicie EFTA, UE, G7, GCC, Mercosur, NAFTA, ASEAN i OECD,

biorąc pod uwagę skutki rozwoju finansowego i znaczenie sektora przemysłowego,

urbanizacja i energetyka odnawialna na poziomie emisji CO₂; (2) testowanie hipotezy EKC dla

44 poszczególnych krajów na całym świecie, aby sprawdzić dla każdego kraju, czy istnieje punkt zwrotny w relacji pomiędzy dochodem na mieszkańca a degradacją środowiska.

Przed użyciem danych panelowych i danych szeregów czasowych do estymacji modelu regresji zwrotnych, w tym badaniu przeprowadzono test pierwiastka jednostkowego, aby sprawdzić, czy zbiory danych są stacjonarne. Wyniki testu są przedstawione odpowiednio w tabelach 2 i 3 dla testu ADF i testu LLC. Widać, że dla całego panelu szeregi zmiennych wszystkich grup krajów są stacjonarne, gdyż odpowiadające im wartości p są mniejsze niż 0,05, prowadzi do odrzucenia hipotezy zerowej, że zmienna jest niestacjonarna lub posiada jednostkę trendu. Zatem te zbiory danych panelowych można wykorzystać do oszacowania regresji zwrotnej panelu. Jednak w przypadku w przypadku danych szeregów czasowych test ADF przeprowadza się dla szeregów czasowych poszczególnych krajów; Stwierdzono, że zmienne lnCO₂ i lnGDC dla wszystkich krajów są stacjonarne przy pierwszej różnicy.

Tabela 2. Wyniki testu pierwiastka jednostkowego rozszerzonego Dicky'ego – Fullera (ADF) szeregów czasowych.

lnGDP																
Kraj	ja(0)		ja(1)	Kraj	ja(0)		ja(1)	Kraj	ja(0)		ja(1)					
Argentyna	1,020	4,832 ***	Australia	Islandia	1,122	5,938 ***		Katar	2,029	10,288 ***						
	0,938	3,232 ***		Włochy	0,433	2,292 *		Irlandia	1,021	2,928	7,287 ***					
Austria		0,8723	2,973 **	Japonia	0,323	** Arabia Saudyjska	0,983				4,092 ***					
Bahrajn	1,233	3,088 ***		Kuwejt	1,672	4,221 ***		Singapur	1,088		5,982 ***					
Belgia	1,221	5,932 ***	Luksemburg	1,121	9,383 ***	Korea Poł udniowa	1,092	Brazylia	0,992	4,233 ***	Meksyk	0,887	5,109 ***			
	5,393 ***	Hiszpania	0,133	Brunei	0,322	3,099 ***	Malta	0,232	2,977 **	Szwecja	0,283	Buł garia	0,221	4,988 **	3,091 **	
Malezja	0,905	6,943 ***	Szwajcaria	0,863	Kanada	1,221	6,988 ***	Holandia	2,001	5,032 ***	Tajlandia	1,622	Cypr		4,002 ***	
	0,672	2,938 **	Norwegia	1,983	8,937 ***	Turcja	1,032	Dania	1,028	6,093 ***	Nowa Zelandia	1,221	4,083 ***		4,211 ***	
Zjednoczone Emiraty Arabskie		1,082	Finlandia	0,988	3,329 **	Oman	0,637	6,993 ***	Wielka Brytania	0,382	Francja	1,228			6,993 ***	
	5,022 ***	Filipiny	0,082	5,982 ***	USA	0,221	Grecja	Portugalia	0,234	Urugwaj	Indonezja	1,872	6,093 ***	Paragwaj		5,039 ***
																6,223 ***
																4,001 ***
																3,902 ***
		0,232	2,383 *					3,023 **			0,673					5,093 ***
						1,722	5,938 ***				1,001					5,221 ***
lnCO2																
Kraj	ja(0)		ja(1)	Kraj	ja(0)		ja(1)	Kraj	ja(0)		ja(1)					
Argentyna	0,883	Katar	Australia	3,092 **	3,121 **	Włochy	1,090	6,002 ***	Irlandia	0,982	3,831 **		1,872			8,983 ***
Austria	0,129	3,011 **	Japonia	2,011	7,155 ***	Arabia Saudyjska	0,362	3,991 **								
Bahrajn	0,881	4,920 ****	Kuwejt	0,728	4,920 ***	Singapur	1,009	4,027 ***								
Belgia	1,021	6,001 ***	Luksemburg	3,928	5,219 **	Korea Poł udniowa	0,628	4,982 ***								
Brazylia	0,122	3,221 **	Meksyk	0,221	3,292 **	Hiszpania	0,512	4,778 ***								
Brunei	0,312	3,423 **	Malta	0,449	3,982 ***	Szwecja	0,398	3,982 ***								
Buł garia	0,622	4,221 ***	Malezja	0,983	4,772 ***	Szwajcaria	0,447	4,002 ***								
Kanada	2,001	7,930 ***	Holandia	1,593	6,112 ***	Tajlandia	1,921	6,766 ***								
Cypr	0,392	3,120 **	Norwegia	1,335	6,029 ***	Turcja	0,223	3,652 **								
Dania	1,122	5,550 ***	Nowa Zelandia	0,873	4,832 ***	Zjednoczone Emiraty Arabskie	0,526						1,982			6,871 ***
			3,212 **			Oman	0,234	5,032 ***					0,293			3,521 **
Francja	0,219		4,020 ***			Filipiny	0,882	3,028 ***				NAS	1,773			7,938 ***
Grecja	0,110	3,921 ***	7,993			Portugalia	0,432	2,893 **				Urugwaj	0,673			3,229 **
Indonezja	2,091		***			Paragwaj	1,001	4,389 ***					1,012			5,039 ***

Uwaga: „*”, „**”, „***” wskazują istotność statystyczną odpowiednio na poziomach 0,05, 0,01 i 0,001.

Tabela 3. Wyniki panelowego testu pierwiastków jednostkowych Levina, Lin i Chu (LLC).

	G7	OECD	UE	Mercosuru
lnCO2	2,843 **	3,722 **	3,219 **	4,013 ***
lnGDPC	3,432 **	4,743 ***	3,414 **	3,122 **
lnFIN	4,651 ***	7,552 ***	7,068 ***	7,382 ***
lnIND	4,556 ***	4,923 ***	5,893 **	4,323 ***
lnURB	3,232 **	2,938 **	3,232 **	4,883 ***
lnRNE	3,092 **	5,333 ***	3,738 ***	3,422 **
	EFTA	GCC	Nafta	ASEAN
lnCO2	3,222 **	3,216 **	3,563 **	3,014 **
lnGDPC	4,361 ***	5,922 ***	2,952 **	3,532 **
lnFIN	4,245 ***	5,234 ***	3,565 **	4,654 ***
lnIND	3,208 **	4,897 ***	4,178 ***	5,136 ***
lnURB	3,543 **	3,118 **	4,513 ***	4,432 ***
lnRNE	2,983 **	4,232 ***	3,901 **	4,221 ***

Uwaga: „*”, „**”, „***” i „****” wskazują istotność statystyczną odpowiednio na poziomach 0,05, 0,01 i 0,001.

5. Wyniki empiryczne

5.1. Badanie hipotezy EKC dla grup krajów

Przed przetestowaniem hipotezy EKC za pomocą testu F zgodnie z opisem w sekcji 3.3 konieczne jest test na istnienie punktu załamania w regresji załamania, aby potwierdzić, że związek strukturalny między zmienną niezależną a zmienną zależną jest nieliniowa przy użyciu testu F.

Oprócz samego zbadania wpływu wzrostu gospodarczego na jakość środowiska, badacze postanowili wziąć pod uwagę inne zmienne, które mogą odgrywać rolę w napędzaniu wzrostu lub zmniejszeniu emisji CO₂, czyli czynniki rozwoju finansowego (FIN), znaczenie sektoru przemysłowy (IND), urbanizacja (URB) i energie odnawialne (RNE), wyrażone w całości związek za pomocą równania (13).

Zgodnie z testem F w tabeli 4 można zaobserwować, że hipoteza zerowa dotycząca efektu załamania zostaje odrzucona na poziomie statystycznym 5% we wszystkich grupach krajów, co wskazuje, że powiązanie CO₂–GDPC jest nieliniowe. Dlatego też poniższa analiza regresji załamania panelowych jest odpowiednia do badania istnienia EKC.

Tabela 4. Wyniki testu F dla efektu załamania dla ośmiu głównych grup krajów.

Grupa	F _T [*]
ASEAN	116,938 ***
Nafta	129,332 ***
GCC	132,938 ***
EFTA	118,672 ***
MERCOSUR	113,123 ***
UE	110,221 ***
OECD	122,323 ***
G7	129,009 ***

Notatka: „****” oznacza, że w kraju istnieje nieliniowa zależność pomiędzy emisją CO₂ a PKB na mieszkańca (GDPC) z obecnością efektu załamania na poziomie istotności statystycznej 0,001.

5.2. Wyniki estymacji z modelu regresji panelowego zagęszczenia

Tabela 5 przedstawia oszacowania parametrów z modelu regresji załamania panelu dla grup krajów.

Tabela 5. Oszacowania parametrów z panelowego modelu regresji zależań dla ośmiu grup krajów.

Zmienna zależna: terytorialna emisja CO ₂ (lnCO ₂)			
		Współczynnik	SE
ASEAN	lnGDPC 9,473	0,801**	0,184
	lnGDPC > 9,473	0,273	0,322
	lnFIN	0,131	0,281
	lnIND	0,015	0,011
	lnURB	0,823 ***	0,213
	lnRNE	-0,003	0,002
Nafta	lnGDPC 10,204	0,412 *	0,201
	lnGDPC > 10,204	1,132 ***	0,187
	lnFIN	0,218 *	0,100
	lnIND	0,043**	0,012
	lnURB	0,321	0,221
	lnRNE	0,002 *	0,001
GCC	lnGDPC 10,123	0,389	0,312
	lnGDPC > 10,123	0,633 ***	0,135
	lnFIN	0,223 ***	0,010
	lnIND	0,256**	0,091
	lnURB	0,563 ***	0,112
	lnRNE	0,012	0,021
EFTA	lnGDPC 11,244	1,152 **	0,39
	lnGDPC > 11,244	1,009 *	0,47
	lnFIN	0,212 *	0,100
	lnIND	0,182 ***	0,013
	lnURB	0,232	0,201
	lnRNE	0,006 **	0,002
Mercosuru	lnGDPC 8,783	0,782 *	0,310
	lnGDPC > 8,783	0,891 ***	0,192
	lnFIN	0,221	0,151
	lnIND	0,532 *	0,201
	lnURB	0,553 ***	0,151
	lnRNE	0,001	0,001
UE	lnGDPC 10,465	0,389 ***	0,108
	lnGDPC > 10,465	0,211 ***	0,073
	lnFIN	0,122 ***	0,031
	lnIND	0,149 ***	0,051
	lnURB	0,123 ***	0,032
	lnRNE	0,033 *	0,015
OECD	lnGDPC 10,542	0,477 ***	0,120
	lnGDPC > 10,542	0,465 **	0,132
	lnFIN	0,121 *	0,053
	lnIND	0,321 ***	0,101
	lnURB	0,232	0,214
	lnRNE	0,006 ***	0,002
G7	lnGDPC 10,721	1,224 *	0,502
	lnGDPC > 10,721	1,832 ***	0,642
	lnFIN	0,323 *	0,123
	lnIND	0,062 ***	0,009
	lnURB	0,019 ***	0,002
	lnRNE	0,030 **	0,010

Uwaga: „*”, „**”, „***” i „****” wskazują istotność statystyczną odpowiednio na poziomach 0,05, 0,01 i 0,001. SE oznacza standardowy błąd.

Wyniki estymacji przedstawione w tabeli 5 wskazują, że hipoteza EKC sprawdza się w UE, OECD i społecznościach G7, ponieważ poziomy emisji CO₂ są wysokie na wczesnych etapach wzrostu gospodarczego ($\ln \text{GDPC}$ y ma nachylenie dodatnie), ale emisje spadają wraz ze wzrostem gospodarczym wykraczającym poza punkt zwrotny ($\ln \text{GDPC}$ y ma nachylenie ujemne). W przypadku UE, gdy $\ln \text{GDPC}$ utrzymuje się poniżej 10,465, wzrost PKB o 1% powoduje wzrost poziomu emisji CO₂ o 0,389%; ale po przekroczeniu punktu zwrotnego, gdy $\ln \text{GDPC}$ jest większy niż 10,465, 1% wzrost realnego PKB na mieszkańca prowadzi do redukcji emisji CO₂ o 0,211%. Tym samym związek pomiędzy wzrostem gospodarczym a jakością środowiska w grupie UE jest zgodny z hipotezą EKC. Ta sama zależność istnieje także w innych grupach. W grupie OECD wzrost gospodarczego o 1% przed osiągnięciem punktu zwrotnego skutkował wzrostem poziomu emisji CO₂ o 0,477%, natomiast wzrost PKB o 1% po przekroczeniu punktu zwrotnego przy 10,542 spowodował masowy spadek emisji CO₂ o 0,465%, co oznacza tempo spadku 1,7 i 2,2 razy większe w porównaniu odpowiednio z grupą ASEAN (0,273) i UE (0,211). G7 to grupa generująca najwięcej emisji CO₂ spośród ośmiu grup krajów, gdy jej dochód na mieszkańca jest niższy niż punkt zwrotny wynoszący 10,721, gdyż wzrost PKB o 1% powoduje wzrost emisji CO₂ aż o 1,224%; jednakże rozwój gospodarczy kraju poza punkt zwrotny doprowadził do ogromnej redukcji emisji CO₂ o 1,832%, biorąc pod uwagę 1% wzrost PKB. W przypadku NAFTA i EFTA ich rozwój gospodarczy szedł w parze ze spadkiem emisji. W szczególności grupa NAFTA, biorąc pod uwagę 1% wzrost PKB, przed osiągnięciem punktu zwrotnego na poziomie 10,204, może zmniejszyć emisję CO₂ o 0,412%, a następnie o 1,132%, gdy gospodarka wzrośnie powyżej punktu zwrotnego. Wręcz przeciwnie, wzrost gospodarczy grup GCC i Mercosur odbywa się przy stale rosnącej emisji CO₂. Po przekroczeniu punktu zwrotnego na poziomie 10,123 grupa GCC odnotowała wzrost emisji CO₂ o 0,633%. Jednakże wpływ PKB na emisję CO₂ przed osiągnięciem punktu zwrotnego jest nieistotny ($\ln \text{GDPC}$ 10,123).

Tymczasem 1% wzrost PKB grupy Mercosur w okresie przed lub po punkcie zwrotnym jest powiązany ze wzrostem emisji CO₂ o około 0,8%.

Dla każdej grupy krajów, w przypadku których stwierdzono związek między wzrostem gospodarczym a degradacją środowiska zgodnie z hipotezą EKC, ich realny PKB na mieszkańca (USD) w punkcie zwrotnym, który należy utrzymać lub zwiększyć w celu zapewnienia zrównoważenia środowiskowego, można obliczyć poprzez przekształcenie odpowiedniej wartości punktu zwrotnego do postaci wykładowiczej. Jak pokazano w tabeli 6, dla grup UE, OECD i G7 poziom emisji CO₂ będzie spadał, gdy odpowiedni poziom realnego PKB na mieszkańca będzie równy lub wyższy niż 35 066,45, 37 873,24 i 45 297,18 USD.

Tabela 6. Szacunkowe wartości punktów zwrotnych i odpowiadający im optymalny poziom realnego PKB na mieszkańca (USD) dla krajów z empiryczną krzywą Kuznetsa (EKC).

	Punkt zwrotny (y)	Realny PKB na mieszkańca (USD)
UE	10.465	35 066,45
OECD	10,542	37 873,24
G7	10,721	45 297,18

Uwaga: Realny PKB na mieszkańca (USD) obliczono poprzez przeliczenie wartości punktu zwrotnego do postaci wykładowiczej.

Według tej analizy panelowej hipoteza EKC dotyczy jedynie UE, G7 i OECD, natomiast nie jest oczywista w przypadku ASEAN-5, NAFTA, GCC, EFTA ani MERCOSUR. Oznacza to, że przejście w emisji CO₂ według EKC następuje jedynie w trzech rozwiniętych grupach gospodarczych (UE, G7 i OECD). Możliwą przyczyną jest to, że te rozwinięte grupy mogą stosować politykę energetyczną w celu zwiększenia swojej efektywności energetycznej. Jednakże dla wschodzących grup gospodarczych prawdopodobnie wyższy priorytet stanowi rozwój gospodarczy, niż wprowadzanie bardziej wydajnych źródeł energii w celu rozwiązania problemu degradacji środowiska.

Ponadto stwierdzono, że cztery dodatkowe zmienne kontrolne uwzględnione w modelu również wpływają na poziom emisji CO₂ w dwóch kierunkach. Współczynniki FIN, IND i URB mają pewien pozytywny wpływ na emisję CO₂; jednakże RNE jest ujemne. FIN wykazuje znaczący i pozytywny wpływ na emisję CO₂ w przypadku grup NAFTA, GCC, EFTA, UE, OECD i G7, ponieważ

rozwój finansowy poszerzył dostęp do kapitału, czyniąc w ten sposób atrakcyjnym dla prywatnych przedsiębiorstw inwestowanie w rozwój działalności przemysłowej, która również wytwarzała substancje zanieczyszczające jako produkty uboczne. Zjawisko to jest spójne z wynikami wcześniejszych badań Shahbaza, Hussaina, Ahmada i Alama [43], które wskazywały, że rozwój finansowy, a zwłaszcza większy dostęp do źródeł finansowania, prowadził do degradacji środowiska. Dodatkowo, pozytywny wpływ rozwoju finansowego potwierdzają także wcześniejsze ustalenia z badań Shahbaza i in. [44] dla BRICS (Brazylia, Rosja, Indie, Chiny i Republika Południowej Afryki) oraz 11 gospodarek europejskich po okresie transformacji, Kilic i Balan [45] dla 151 krajów, Shoaib i in. [46] dla G7 i ośmiu krajów rozwijających się oraz Shahbaz, Tiwari i Nasir [13] dla Republiki Południowej Afryki. Halliru i in. [47] zasugerowali, że większy rozwój finansowy jest skierowany na korzyść sektora przemysłowego, zwłaszcza produkcyjnego i górniczego, co skutkuje zwiększonym zanieczyszczeniem. Dokonując porównania współczynników FIN dotyczących emisji CO₂, otrzymujemy wyniki, że współczynnik FIN G7 jest najwyższy i wynosi 0,323, a za nimi plasują się GCC (0,223), NAFTA (0,218), EFTA (0,182), UE (0,122) i grupy OECD (0,121). Tymczasem czynnik IND, czyli znaczenie sektora przemysłowego mierzone jego udziałem w wartości dodanej w PKB, wykazuje dodatnią korelację ze wzrostem emisji CO₂ we wszystkich grupach krajów (z wyjątkiem ASEAN), prawdopodobnie dlatego, że inwestycje w ekspansję sektora przemysłowego wiązały się z większym zużyciem energii w procesie produkcyjnym, co powodowało o wzrost emisji CO₂. Co ciekawe, industrializacja ASEAN miała niewielki wpływ na emisję CO₂. Możliwą przyczyną jest to, że zasady i przepisy grupy ASEAN dotyczące ochrony środowiska są surowe i nie powodują emisji dwutlenku węgla. Ponadto sektory przemysłowe ASEAN opierają się na przemyśle miękkim, który nie jest źródłem zanieczyszczeń [33].

Jeśli chodzi o urbanizację (URB), wynika, że większość współczynników URB jest istotna statystycznie. Wyniki wskazują, że współczynniki URB dla ASEAN, GCC, Mercosur i G7 są dodatnie, a emisja dwutlenku węgla jest elastyczna w odniesieniu do urbanizacji; 1% wzrost urbanizacji zwiększa emisję dwutlenku węgla w zakresie od 0,019% (G7) do 0,823% (ASEAN). Nasze ustalenia są zgodne z wynikami Pata [14], Ali, Bakhsh i Yasin [32], Saidi i Omri [30] oraz Zafar i wsp. [20]. Urbanizacja odgrywa w ASEAN ważniejszą rolę niż w pozostałych trzech grupach. Szybka urbanizacja występuje w ASEAN od chwili jego powstania, a jej tempo wzrosło w ostatnich dziesięcioleciach. Jednym z głównych problemów tej szybkiej urbanizacji są emisje pochodzące z ruchu drogowego, które wpływają na jakość środowiska na obszarach miejskich. W przypadku NAFTA, UE, EFTA i OECD odkryliśmy, że urbanizacja nie ma znaczącego wpływu na emisję CO₂. Oczekujemy, że w miastach będzie realizowany rozwój ekologicznego transportu, jakim jest transport publiczny tych grup, co wpłynie na zmniejszenie zużycia energii i szkodliwej emisji CO₂. Saidi i Omri [30] zasugerowali, że udoskonalanie zielonych technologii w miejskich sektorach przemysłowych i mieszkaniowych ma na celu szkolenie i edukowanie ludzi w zakresie łagodzenia i adaptacji w odniesieniu do degradacji środowiska.

Niemniej jednak istnieje znaczący negatywny związek pomiędzy energiami odnawialnymi (RNE) a emisjami CO₂. Wynik pokazuje, że zużycie energii odnawialnej ma znaczący wpływ na emisję dwutlenku węgla w przypadku pięciu z ośmiu grup, co oznacza, że emisje dwutlenku węgla są elastyczne w odniesieniu do zużycia energii odnawialnej. W szczególności współczynnik OZE jest ujemny i istotny statystycznie dla grup NAFTA (-0,002), EFTA (-0,006), UE (-0,033), OECD (-0,006) i G7 (-0,033). Odkrycie to jest spójne z odkryciem Saidiego i Omriego [30], którzy również odkryli związek przyczynowy między energiami odnawialnymi a emisją dwutlenku węgla w różnych regionach.

Aby uzyskać wynik odporności, porównujemy wydajność regresji załamania panelu i regresji liniowej panelu w postaci zarówno modeli danych zbiorczych, jak i modeli z efektami stałymi, w oparciu o minimalne kryterium informacyjne Bayesa (BIC), aby wybrać najlepszy model do estymacji. Z obliczonych BIC przedstawionych w Tabeli 7 można zauważyć, że panelowy model regresji załamania jest konsekwentnie lepszy od panelowego modelu regresji liniowej w grupach krajów dla stosunkowo niższych wartości BIC.

Co więcej, w przypadku estymacji za pomocą dwóch różnych podejść regresji danych panelowych stwierdzono, że model regresji panelowej zarówno w postaci załamania, jak i liniowej, wykorzystujący podejście z efektami stałymi, jest bardziej odpowiedni niż model wykorzystujący podejście oparte na danych zbiorczych, uwzględniający niższe wartości BIC we wszystkich grupach krajów.

Tabela 7. Obliczone Bayesowskie Kryterium Informacyjne (BIC) różnych modeli regresji.

BIC	Panelowa regresja liniowa		Regresja zagięcia panelu	
	Połączone	Naprawił	Połączone	Naprawił
ASEAN	28,098	30,832	30,772	40,215
Nafta	13,982	16,982	29,001	35,591
GCC	14,662	15,349	17,110	24,641
EFTA	9,098	10,221	12,492	23,955
MERCOSUR	4,811	13,092	8,321	16,022
UE	9,451	10,326	12,984	26,091
OECD	3,921	4,773	5,223	6,832
G7	6,983	8,983	9,021	20,332

Uwaga: Najniższe wartości BIC przedstawiono pogrubioną czcionką.

5.3. Badanie hipotezy EKC dla poszczególnych krajów

Po przetestowaniu hipotezy EKC dla poszczególnych krajów z wynikiem potwierdzającym istnienie EKC w niektórych krajach, obecni badacze nadal byli zainteresowani testowaniem EKC nieliniową zależność między wzrostem a emisjami na poziomie zagregowanym, skupiając się na głównych obszarach międzynarodowe grupy gospodarek. Wyniki testu na efekt załamania dla poszczególnych krajów są następujące przedstawiono w tabeli 8, z której wynika, że nieliniowa zależność pomiędzy realnym PKB na mieszkańca a Emisje CO₂ występują w 17 z 44 badanych krajów.

Tabela 8. Wyniki testu F dla efektu załamania dla 44 poszczególnych krajów.

Kraj	F _T *	Kraj	F _T *	Kraj	F _T *
Argentyna	5,291	Islandia	0,882	Katar	4,585
Australia	10,302 ***	Włochy	0,227	Irlandia	7,930 *
Austria	7,938 **	Japonia	0,921	Arabia Saudyjska	6,483 *
Bahrajn	6,832 *	Kuwejt	6,331 **	Singapur	6,355 *
Belgia	2,883	Luksemburg	0,821	Korea Południowa	6,492 *
Brazylia	2,123	Meksyk	0,771	Hiszpania	4,021
Brunei	4,981	Malta	1,872	Szwecja	4,902
Bulgaria	1,321	Malezja	4,324	Szwajcaria	5,022
Kanada	1,673	Holandia	9,232 **	Tajlandia	4,999
Cypr	5,301	Norwegia	11,282 ***	Indyk	6,883 *
Dania	12,381 ***	Nowa Zelandia	10,992 ***	Opóźnienie strukturalne	1,156
Finlandia	4,211	Oman	7,432 *	Wielka Brytania	10,982 ***
Francja	3,928	Filipiny	1,239	NAS	1,090
Grecja	1,992	Portugalia	8,921 *	Urugwaj	1,001
Indonezja	0,862	Paragwaj	6,472 *		

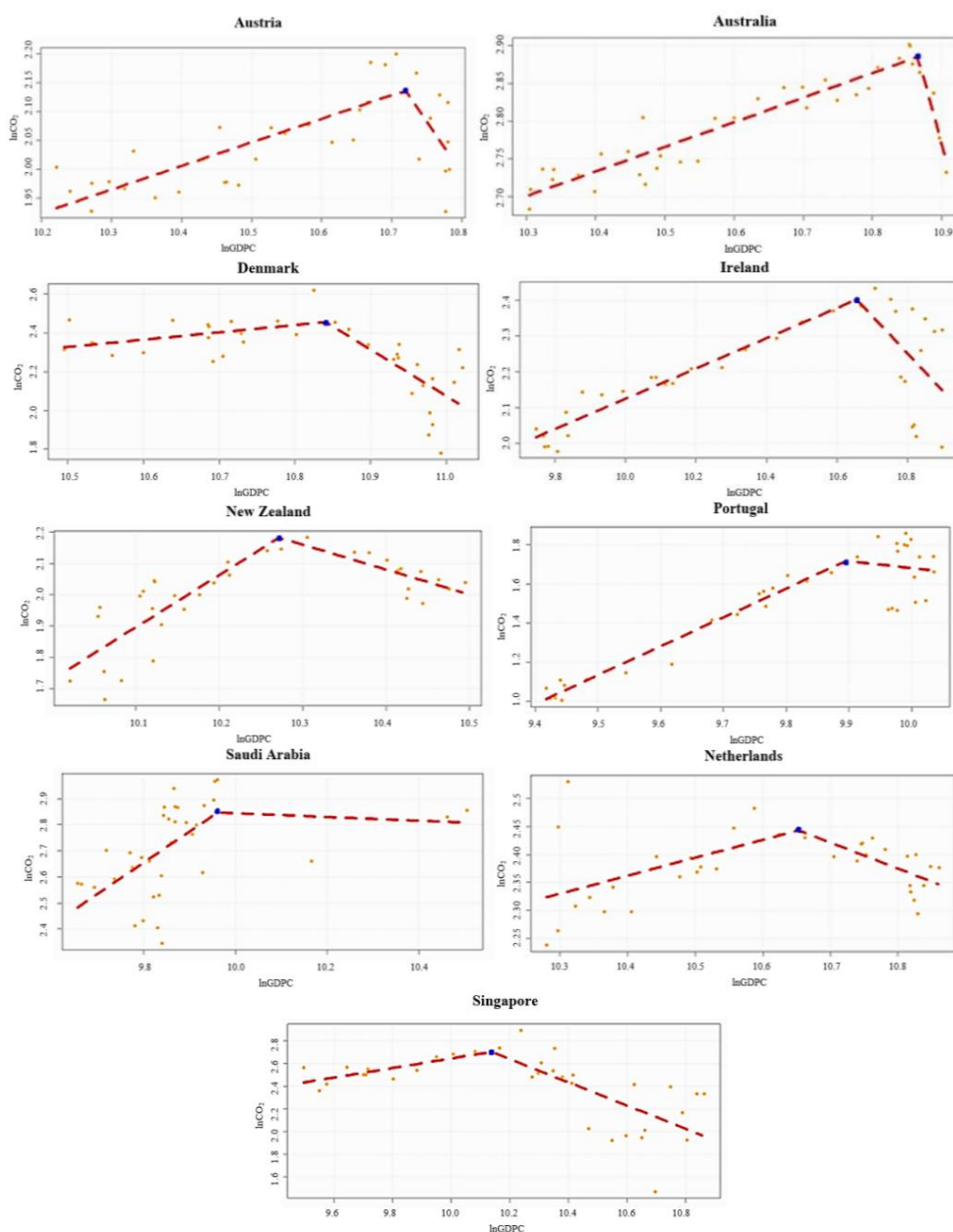
Uwaga: *, **, *** i **** wskazują istotność statystyczną odpowiednio na poziomach 0,05, 0,01 i 0,001. Statystycznie znaczący wynik oznacza, że kraj ma nieliniową zależność pomiędzy emisją CO₂ i PKB z obecnością efektu załamania. Ponadto, ponieważ nasze dane szeregów czasowych są stacjonarne w I(1), wynik naszego szeregu czasowego może spotkać się z fałszywym problemem regresji. Aby wyjaśnić ten problem, czerpiemy z testu kointegracji Engle'a i Grangera z Engle i Yoo [48] zbadali istnienie długoterminowego związku pomiędzy zmiennymi zależnymi i niezależnymi w modelu regresji załamania. Wynik potwierdza długoterminową nieliniową zależność pomiędzy emisją CO₂ a RODO (patrz tabela A2).

Następnie uruchomiono model regresji załamania szeregu czasowego (Równanie (4)) w celu uchwycenia nieliniowego związku między wzrostem gospodarczym a jakością środowiska, a także punkt zwrotny dla każdego z nich z 17 krajów, w których wykryto efekt załamania. Wyniki pokazują, że hipoteza EKC występuje tylko w dziewięciu krajach, jak przedstawiono graficznie na rysunku 2. W dziewięciu krajach, w których stwierdzono: statystycznie istotny punkt zwrotny w ich relacji wzrostu gospodarczego i jakości środowiska to Australia, Austria, Holandia, Nowa Zelandia, Portugalia, Dania, Irlandia, Arabia Saudyjska, i Singapur. Jak widać na rysunku 2, w tych krajach wczesne etapy wzrostu gospodarczego miały miejsce w połączeniu ze wzrostem emisji CO₂ aż do punktu krytycznego; następnie rozwój gospodarczy poza

punkt załamania szedł w parze ze spadkiem emisji CO₂. To odkrycie empiryczne potwierdza teoria EKC, która zakłada, że w procesie rozwoju gospodarczego oczekuje się zniesienia degradacji środowiska powstająca we wczesnych fazach wzrostu gospodarczego. Prawdopodobnie dzieje się tak dlatego ludzie w społeczeństwach rozwiniętych mają wiedzę i poczucie troski o środowisko, i to robią naciskać na rozwój i wykorzystanie zielonych i czystych technologii w celu poprawy środowiska jakoś. Dlatego linia regresji załamania szeregu czasowego będzie miała dodatnie nachylenie ($\beta_1 > 0$) dla początku etapy wzrostu gospodarczego i nachylenie ujemne ($\beta_1^+ < 0$) dla okresu poza punktem załamania.

Zrównoważony rozwój 2020, 12, x DE PRZEGLĄDU

16 z 23

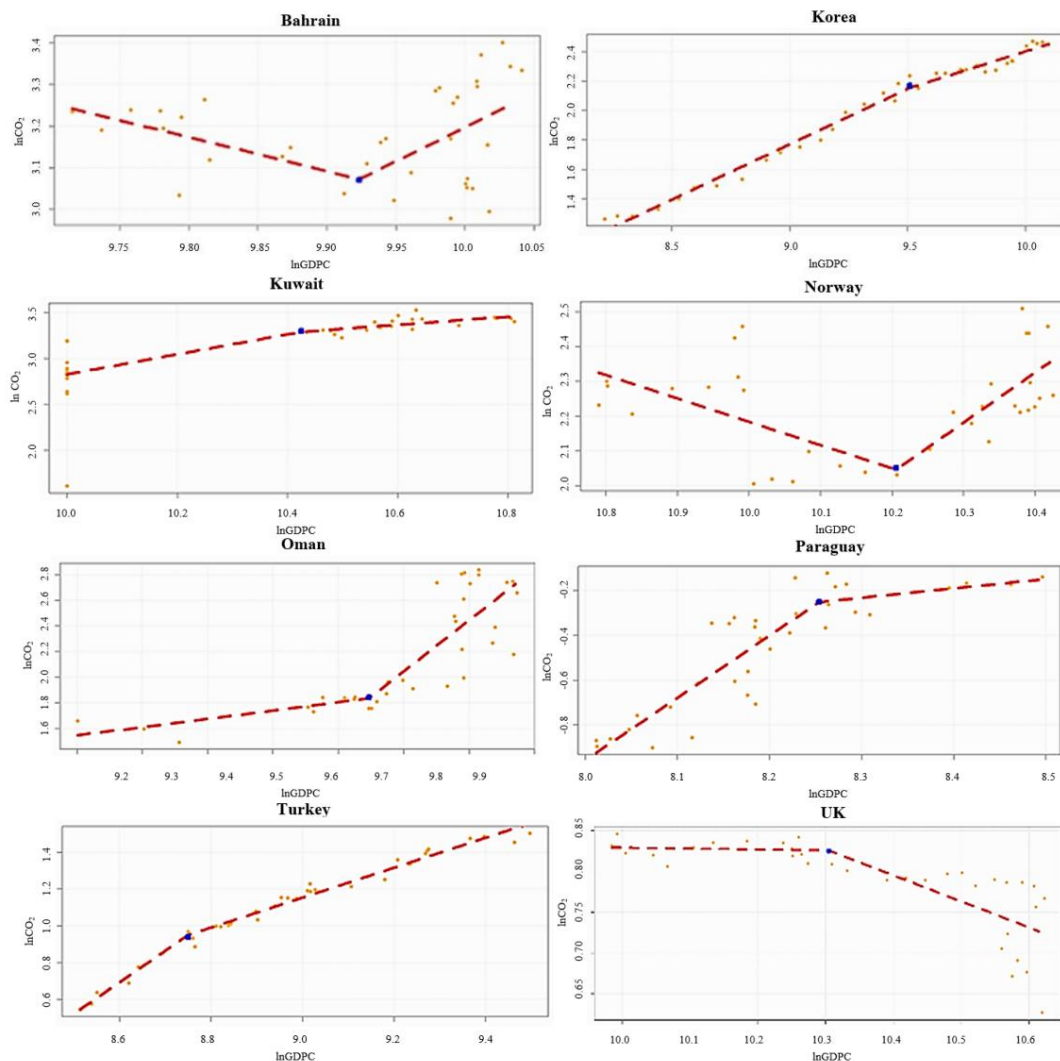


Rysunek 2. Wyniki empiryczne dotyczące związku między emisjami lnCO₂ a lnGDPC dla poszczególnych krajów potwierdzające hipotezę o rozwoju krzywej szumera (EKC).

Wręcz przeciwnie, chociaż stwierdzono, że Bahrajn i Norwegia mają niższą emisję CO₂ tendencje w procesie wzrostu gospodarczego, emisje CO₂ wzrosły wraz ze wzrostem ich gospodarek. Niektóre kraje, takie jak Oman, nadal mają bardziej krytyczną postawę do kwestii ochrony środowiska z dalszym wzrostem gospodarczym. Tymczasem w kilku krajach, w tym w Kuwejcie, Paragwaju, Rakuwaju, Południowym Korei, Południowej Turcji, poziom emisji CO₂ nadal rośnie, ale w tempie malejącym gospodarczym. Co więcej, warto zauważyć, że Wielka Brytania jest krajem, który może utrzymać poziom Emisje CO₂ są stałe na ścieżce wzrostu gospodarczego i znacznie zmniejszają emisję CO₂ po tym, jak kraj osiągnął punkt krytyczny. Dowody te przedstawiono na rysunku 3.

z rozwojem gospodarczym. Co więcej, warto zauważyć, że Wielka Brytania jest krajem, który może utrzymać utrzymanie poziomu emisji CO₂ na ścieżce wzrostu gospodarczego i zmniejszenie emisji CO₂ znacząco powyżej punktu osiągnięcia punktu krytycznego. Dowody te przedstawiono na rysunku

17 z 23 3.



Rysunek 3. Wyniki empiryczne dotyczące związku pomiędzy $\ln CO_2$ a $\ln GDP$ dla różnych krajów, które podlegają hipotezie skrajowej krzywej Kuznejskiej (EKC).

Po zbadaniu istnienia punktu zwrotnego i nieliniowej zależności pomiędzy CO₂ emisji i PKBC, kolejną ważną kwestią wymagającą zbadania jest określenie poziomu wzrostu gospodarczego, który spowoduje, że kraje przelazą z etapu degradacji środowiska do etapu regeneracji środowiska. W tym celu musimy zlokalizować punkt zwrotny każdego kraju, który jest szacowany z modelu regresji zalamania szeregu czasowego (Równanie (4)) i przekształcić go w wykładniczy z modelu regresji zalamania szeregu czasowego (Równanie (4)) i przekształcić go do postaci wykładniczej, aby uzyskać poziom realnego PKB na mieszkańca (USD). Zatem punkt zwrotny odpowiada poziomowi wzrostu gospodarczego, który należy utrzymać, aby zapewnić malejący poziom degradacji środowiska. Szacowany punkt zalamania i odpowiadający mu poziom realnego PKB na mieszkańca dla każdego z dziewięciu krajów przedstawiono w tabeli 9.

Tabela 9 pokazuje realny PKB na mieszkańca, który każdy kraj musi utrzymać, aby zapewnić ochronę środowiska zrównoważonego. Na przykład poziom dla Australii wynosi 52 359 USD, a dla Portugalii 19 843 USD. Empiryczne ustalenia pozwalają nam dowiedzieć się, gdzie znajduje się punkt zwrotny zależności pomiędzy wzrostem gospodarczym i degradacją środowiska. Aby hipoteza EKC była prawdziwa, należy przyjąć hipotezę każdego kraju, wykres będzie miał nachylenie ujemne, gdy kraj przelazł z etapu degradacji do etapu regeneracji.

Australia	52 627,81	10.871
Dania	51124,52	10.842
Austria	45.342,50	10.722
Irlandia	43 001,92	10.669
Holandia	42.319,36	10.653

jego gospodarka rozwija się poza punkt zwrotny. Punkt zwrotny każdego kraju jest określany na podstawie estymacji przy użyciu modelu regresji zależań szeregów czasowych. Na podstawie wartości punktu zwrotnego współczynnika, można określić odpowiadający mu poziom realnego PKB na mieszkańca i należy go utrzymać lub zwiększyć, aby wspierać zrównoważony rozwój środowiska.

Tabela 9. Szacunkowy punkt zależań i odpowiadający mu realny PKB na mieszkańca (USD) dla krajów empirycznie potwierdzających hipotezę EKC.

Kraj	Punkt zależań (γ)	Realny PKB na mieszkańca (USD)
Australia	10.871	52 627,81
Dania	10.842	51 124,52
Austria	10.722	45 342,50
Irlandia	10.669	43 001,92
Holandia	10,653	42.319,36
Nowa Zelandia	10,272	28 911,65
Singapur	10.140	25.336,47
Arabia Saudyjska	9,964	21 247,62
Portugalia	9.901	19 950,31

Uwaga: Realny PKB na mieszkańca (USD) obliczono poprzez przeliczenie wartości punktu zależań do postaci wykładowej.

6. Wnioski, dyskusja i rekomendacje

6.1. Wnioski

W niniejszym badaniu zbadano związek pomiędzy wzrostem gospodarczym a degradacją środowiska mierzone emisją CO₂ w latach 1980–2016 dla 44 poszczególnych krajów i zależności pomiędzy realnym PKB na mieszkańca, rozwojem finansowym, sektorem przemysłowym, urbanizacją i emisjami CO₂ w latach 2001–2016 dla ośmiu grup krajów, w tym ASEAN, EFTA, UE, G7, GCC, Mercosur, NAFTA i OECD przy użyciu modelu regresji zależań szeregów czasowych i zależań panelu model regresji, odpowiednio. Stwierdzono, że tylko 9 z 44 poszczególnych krajów ma związek między wzrostem a środowiskiem na korzyść hipotezy EKC, jako ich dochód na capita, gdy już został osiągnięty i wzrost powyżej punktu zależań, spowodował o to spadek emisji CO₂. Kraje te to Australia, Austria, Holandia, Nowa Zelandia, Portugalia, Dania, Irlandia, Arabia Saudyjska i Singapur. Wyniki drugiego modelu, regresji zależań panelu, wykazały, że: Istnienie EKC w UE, OECD i G7 umożliwiło ich procesy rozwoju gospodarczego ograniczenie i/lub korektę degradacji środowiska powstałej na wczesnych etapach ich rozwoju ekonomicznego.

Trybunał ustalił, że zarówno analizy szeregów czasowych, jak i analizy panelowe dały mieszane wyniki. Zaobserwowaliśmy to. Stwierdzono, że trzy z ośmiu grup gospodarczych i 9 z 44 poszczególnych krajów mają a związek wzrostu i środowiska na korzyść hipotezy EKC. Nasze badanie odpowiada kontrowersje dotyczące istnienia EKC w literaturze. Chociaż niektóre grupy i kraje rozważały w tym badaniu potwierdzono hipotezę EKC (przedstawioną przez krzywą EKC; β_1 i β_1^+), znaczna liczba grup ekonomicznych i krajów nie potwierdza związku EKC. Jeśli weźmiemy pod uwagę test zależań wynikach, możemy zaobserwować efekt zależań w 17 z 44 krajów i wszystkich grup gospodarczych, ale odwrócona zależność hipotezy EKC w kształcie litery U występuje w 9 z 44 krajów i w trzech z ośmiu grup. Co więcej, zbadaliśmy także relację w kształcie litery U w dwóch krajach (Bahrajn i Norwegia), co oznacza, że ma to pozytywny wpływ na zanieczyszczenie powietrza pod względem emisji dwutlenku węgla przez wzrost gospodarczy, gdy poziom realnego PKB na mieszkańca przekracza swój punkt zależań. Co więcej, możemy zbadać pozytywną wielkość wpływów gospodarczych na emisję CO₂ w pięciu poszczególnych krajach (Korea, Kuwejt, Paragwaj, Oman i Turcja) oraz dwie grupy (GCC i Mercosur), gdy prawdziwe Poziom PKB na mieszkańca przekracza swój punkt zależań. Wyniki te implikują rozwój gospodarki szkodzi środowisku, generując więcej zanieczyszczeń. Można zatem śmiało stwierdzić, że

trwał y rozwój gospodarczy w tych krajach i grupach nie jest ukierunkowany na produkcję czystej energii, a wzrost gospodarczy nie oczyści automatycznie środowiska.

Ponadto w niniejszym badaniu określono optymalne poziomy realnego PKB na mieszkańca, które mogą wspierać zrównoważenie środowiskowe w poszczególnych krajach i grupach krajów, w przypadku których empirycznie stwierdzono, że hipoteza EKC jest słuszna. Dokonuje się tego poprzez przekształcenie wartości punktu zwrotnego na realny PKB na mieszkańca. I tak np. Australia powinna utrzymać swój realny PKB na mieszkańca powyżej 52 627,81 USD, a UE powyżej 35 066,45 USD (więcej szczegółów w Tabeli 6 dla grup krajów i Tabeli 9 dla poszczególnych krajów).

Co więcej, interesujące wyniki uzyskano po włączeniu czterech innych zmiennych kontrolnych do modelu estymacyjnego dla grup krajów w celu wyjaśnienia jakości środowiska. Stwierdzono, że rozwój finansowy, industrializacja, urbanizacja i zużycie energii odnawialnej zwiększają emisję CO₂, podczas gdy zużycie energii odnawialnej wydaje się zmniejszać degradację środowiska. Dla rozwoju finansowego najwyższy pozytywny wpływ wykazano w G7 z wartością 0,323. W przypadku industrializacji najwyższy pozytywny wpływ wykazano w Mercosur z wartością 0,532.

W przypadku urbanizacji najwyższy pozytywny wpływ wykazano w ASEAN z wartością 0,823.

Wreszcie, zużycie energii odnawialnej wykazało o najwyższy negatywny wpływ w UE – wartość -0,033. Wyniki te pokazują, że rozwój zużycia energii odnawialnej odgrywa ważną rolę w poprawie stanu środowiska.

Podobnie jak inna literatura dotycząca EKC, to badanie ma pewne ograniczenia, na podstawie których przedstawia sugestie dotyczące przyszłych badań. Po pierwsze, ograniczenia w dostępności danych uniemożliwiły nam przeprowadzenie badania z uwzględnieniem innych możliwych czynników wpływających na emisję CO₂, takich jak promieniowanie słoneczne, temperatura powietrza, otwartość handlu, kapitał ludzki i całkowita zdolność biologiczna. Po drugie, niniejsze opracowanie nie opisuje w pełni, jaki jest zastosowany w artykule wskaźnik degradacji środowiska. Uwzględniliśmy jedynie terytorialną emisję CO₂ (emisje CO₂ związane z produkcją), co oznacza, że nie uwzględniono wpływu handlu handlowego i eksternalizacji działań zanieczyszczających z produktów o wysokim stopniu uciążliwości dla środowiska. W związku z tym do przyszłych badań sugeruje się ślad emisji CO₂ (podejście oparte na konsumpcji). Ślad emisji CO₂ został dobrze omówiony w Quéré i in. [49] oraz Fanning i O'Neill [50]. Wreszcie, przyszłe badania będą mogły zbadać istnienie EKC przy użyciu innych modeli ekonometrycznych, takich jak uogólniona metoda momentów i podejście panelowej globalnej regresji zwrotności.

6.2. Implikacje polityczne

W większości krajów i grup krajów objętych badaniem niniejsze badanie wykazało, że wzrost gospodarczy nie zawsze może prowadzić do poprawy jakości środowiska. W związku z tym decydenci muszą strategicznie opracować i wdrożyć pewne interwencje w celu promowania wzrostu gospodarczego, równoległe z poprawą jakości środowiska na rzecz zrównoważonego rozwoju.

Biorąc pod uwagę ustalenie, że rozwój finansowy może ułatwić inwestowanie w działalność gospodarczą, która jako produkt uboczny powoduje zanieczyszczenie środowiska, instytucje finansowe lub zezwolenia powinny nadać priorytet udzielaniu kredytów na inwestycje w wykorzystanie i rozwój czystych i ekologicznych technologii, być może poprzez pobieranie niższych opłat oprocentowania umów o ochronie środowiska lub realizacji śladów węglowych. W przypadku krajów o znaczących sektorach przemysłowych, które przyczyniły się do podwyższonej emisji CO₂, należy wdrożyć politykę promującą większą liczbę działań w sektorze usług, takich jak usługi i finanse, lub zachęcającą przemysł wtórny do przyjęcia czystej i przyjaznej dla środowiska technologii. Oznacza to, że zielone finanse są przyjaznym dla środowiska rozwiązaniem pozwalającym osiągnąć zrównoważony rozwój gospodarczy i środowiskowy. Ponadto, ponieważ industrializacja i urbanizacja przyczyniają się do negatywnego wpływu na środowisko, rygorystyczna polityka dotycząca podatku od emisji dwutlenku węgla, polityka pieniężna i polityka migracyjna mogą pomóc w zmniejszeniu ryzyka dla środowiska. Industrializacja i urbanizacja powodują degradację środowiska w wielu grupach gospodarczych; dlatego potrzebne są zachęty do ekologicznego biznesu i ekologiczny transport publiczny. Wreszcie stwierdzono, że promowanie energii odnawialnej przynosi korzyści dla środowiska. Dlatego badania i rozwój technologii są niezbędne do wytwarzania odnawialnych źródeł energii i związanej z nimi infrastruktury.

Wkład autorów: Konceptualizacja, WY i PM; metodologia, WY; oprogramowanie, WY i NM; walidacja, SR i PM; analiza formalna, WY; dochodzenie, NM i SR; zasoby, NM i SR; selekcja danych, NM i SR; pisanie – przygotowanie oryginalnego projektu, NM i SR; pisanie – recenzja i redakcja, WY i PM. Wszyscy autorzy przeczytali i zgodzili się na opublikowaną wersję manuskryptu.

Finansowanie: Wsparcie finansowe tej pracy zapewniło Centrum Doskonałości w Ekonometrii w Chiang Uniwersytet Mai.

Podziękowania: Autorzy chcieliby wyrazić swoją wdzięczność Laxmi Worachai za jej pomoc i ciągłe wsparcie dla nas. Praca ta była wspierana przez Centrum Doskonałości w Ekonometrii Wydziału Ekonomicznego, Uniwersytet w Chiang Mai, Tajlandia.

Konflikt interesów: Autorzy nie zgłaszają konfliktu interesów.

załącznik A

Tabela A1. Lista krajów w każdej wspólnocie gospodarczej.

Grupa Ekonomiczna	Lista krajów uwzględnionych w tym badaniu
ASEAN	Brunei Darussalam, Indonezja, Malezja, Filipiny, Singapur, Tajlandia
Nafta	Kanada, Meksyk, Stany Zjednoczone
GCC	Bahrajn, Kuwejt, Oman, Katar, Arabia Saudyjska, Zjednoczone Emiraty Arabskie
EFTA	Islandia, Norwegia, Szwajcaria
MERCOSUR	Argentyna, Brazylia, Paragwaj, Urugwaj
UE	Austria, Belgia, Bułgaria, Cypr, Dania, Finlandia, Francja, Grecja, Włochy, Luksemburg, Malta, Holandia, Portugalia, Irlandia, Hiszpania, Szwecja
OECD	Australia, Austria, Belgia, Kanada, Dania, Finlandia, Francja, Grecja, Islandia, Włochy, Japonia, Luksemburg, Meksyk, Holandia, Nowa Zelandia, Norwegia, Portugalia, Irlandia, Korea Południowa, Hiszpania, Szwecja, Szwajcaria, Turcja, Stany Zjednoczone Królestwo, Stany Zjednoczone
G7	Kanada, Francja, Włochy, Japonia, Wielka Brytania, Stany Zjednoczone

Tabela A2. Engle i Granger (1987) test kointegracji szeregów czasowych dla 44 poszczególnych krajów.

Kraj	Test EG	Kraj	Test EG	Kraj	Test EG
Argentyna	4,520 *	Islandia	4,312 *	Katar	5,334 **
Australia	4,311 *	Włochy	4,111 *	Irlandia	4,124 *
Austria	4,933 **	Japonia	4,832 **	Arabia Saudyjska	4,248 *
Bahrajn	5,672 ***	Kuwejt	5,298 **	Singapur	4,784 *
Belgia	6,225 ***	Luksemburg	5,984 ***	Korea Południowa	5,653 ***
Brazylia	7,973 ***	Meksyk	6,126 ***	Hiszpania	5,332 **
Brunei	6,884 ***	Malta	6,092 ***	Szwecja	6,434 ***
Bułgaria	4,203 *	Malezja	4,182 *	Szwajcaria	4,178 *
Kanada	4,674 *	Holandia	4,721 *	Tajlandia	5,215 **
Cypr	5,003 **	Norwegia	4,983 **	Indyk	5,459 **
Dania	6,948 ***	Nowa Zelandia	4,182 *	Opuszczony kraj	6,342 ***
Finlandia	5,110 **	Oman	5,256 **	Wielka Brytania	4,689 *
Francja	6,9422 ***	Filipiny	4,394 *	NAS	4,223 *
Grecja	4,118 *	Portugalia	4,934 **	Urugwaj	4,198 *
Indonezja	5,001 **	Paragwaj	4,563 *		

Uwaga: Test EG jest testem statystycznym Engle'a i Yoo [48]. „*”, „**” i „***” wskazują istotność statystyczną na poziomie 0,05, odpowiednio poziomy 0,01 i 0,001. Rozszerzony test pierwiastka jednostkowego Dickeya-Fullera z tylko przecięciem jest stosowany do pozostałych regresji zalamania przy użyciu wartości krytycznych sugerowanych przez Engle i Yoo [48].

Bibliografia

1. Międzyrządowy Panel ds. Zmian Klimatu. Globalne ocieplenie o 1,5 °C. 2018. Dostępne w internecie: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/07/SR15_SPM_High_Res.pdf (dostęp: 24 grudnia 2018 r.).
2. Grossman, GM; Krueger, AB Wpływ północnoamerykańskiej umowy o wolnym handlu na środowisko; Biuro Narodowe Badań Ekonomicznych; MIT Press: Cambridge, MA, USA, 1991.
3. Kuznets, S. Wzrost gospodarczy i nierówność dochodów. Jestem. Ekon. Obj. 2019, 45, 25–37. [\[Odniesienie\]](#) 4. Al-Mulali, U.; Tang, CF; Ozturk, I. Szacowanie środowiska Hipoteza krzywej Kuzneta: Dowody z Ameryki Łacińskiej i krajów Karaibów. Odnówić. Podtrzymać. Energia Rev. 2015, 50, 918–924. [\[Odniesienie\]](#)
5. Hanif, I.; Gago-De-Santos, P. Znaczenie kontroli populacji i stabilności makroekonomicznej dla ograniczenia degradacji środowiska: empiryczny test środowiskowej krzywej Kuzneta dla krajów rozwijających się. Odczuć. Rozw. 2017, 23, 1–9. [\[Odniesienie\]](#)
6. Ulucak, R.; Bilgili, F. Ponowne zbadanie modelu EKC poprzez pomiar śladu ekologicznego dla krajów o wysokich, średnich i niskich dochodach. J. Czysty. Szturczyć. 2018, 188, 144–157. [\[Odniesienie\]](#)
7. Akbostancı, E.; Türlüt-Aşık, S.; Tunç, G. Zależność między dochodem a środowiskiem w Turcji: Czy istnieje ekologiczna krzywa Kuzneta. Polityka Energetyczna 2009, 37, 861–867. [\[Odniesienie\]](#) 8. Özokcu, S.; Özdemir, Ö. Wzrost gospodarczy, energia i środowisko Krzywa Kuzneta. Odnówić. Podtrzymać. Energia Rev. 2017, 72, 639–647. [\[Odniesienie\]](#)
9. Das Neves Almeida, Tajlandia; Cruz, L.; Barata, E.; Garcí a-Sánchez, I.-M. Wzrost gospodarczy i wpływ na środowisko: analiza oparta na złożonym wskaźniku szkód dla środowiska. Ekol. Indyk. 2017, 76, 119–130. [\[Odniesienie\]](#)
10. Międzyrządowy Panel ds. Zmian Klimatu. Sprawozdanie podsumowujące dotyczące zmiany klimatu za rok 2014. 2014. Dostępne online: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf (dostęp: 24 grudnia 2018 r.).
11. Atasoy, BS Testowanie hipotezy środowiskowej krzywej Kuzneta w USA: dowody na podstawie średniej panelowej estymatory grupowe. Odnówić. Podtrzymać. Energia Rev. 2017, 77, 731–747. [\[Odniesienie\]](#)
12. Sinha, A.; Shahbaz, M. Oszacowanie środowiskowej krzywej Kuzneta dla emisji CO₂: Rola energii odnawialnej wytwarzania energii w Indiach. Odnówić. Energia 2018, 119, 703–711. [\[Odniesienie\]](#)
13. Shahbaz, M.; Tiwari, AK; Nasir, M. Wpływ rozwoju finansowego, wzrostu gospodarczego, zużycia węgla i otwartości handlu na emisję CO₂ w Republice Południowej Afryki. Polityka energetyczna 2013, 61, 1452–1459. [\[Odniesienie\]](#)
14. Pata, Wielka Brytania Zużycie energii odnawialnej, urbanizacja, rozwój finansowy, dochody i emisje CO₂ w Turcji: testowanie hipotezy EKC z przerwami strukturalnymi. J. Czysty. Szturczyć. 2018, 187, 770–779. [\[Odniesienie\]](#)
15. Liu, X.; Bae, J. Wpływ urbanizacji i industrializacji emisji CO₂ w Chinach. J. Czysty. Szturczyć. 2018, 172, 178–186. [\[Odniesienie\]](#)
16. Shahbaz, M.; Solarin, SA; Ozturk, I. Środowiskowa hipoteza krzywej Kuzneta i rola globalizacji w wybranych krajach Afryki. Ekol. Indyk. 2016, 67, 623–636. [\[Odniesienie\]](#)
17. Bekhet, Hawaje; Othman, NS Rola energii odnawialnej w walidacji dynamicznej interakcji między emisjami CO₂ a PKB w kierunku zrównoważonego rozwoju w Malezji. Ekonomia Energii. 2018, 72, 47–61. [\[Odniesienie\]](#)
18. Aruga, K. Badanie hipotezy energetyczno-środowiskowej krzywej Kuzneta dla regionu Azji i Pacyfiku. Zrównoważony rozwój 2019, 11, 2395. [\[CrossRef\]](#)
19. Ahmad, N.; Du, L.; Lu, J.; Wang, J.; Li, H.-Z.; Hashmi, MZ Modelowanie emisji CO₂ i wzrostu gospodarczego w Chorwacji: Czy istnieje ekologiczna krzywa Kuzneta. Energia 2017, 123, 164–172. [\[Odniesienie\]](#)
20. Stern, DI Wzrost i spadek środowiskowej krzywej Kuzneta. Świat Dev. 2004, 32, 1419–1439. [\[Odniesienie\]](#)
21. Kaika, D.; Zervas, E. Teoria środowiskowej krzywej Kuzneta (EKC) — Część A: Pojęcie, przyczyny i CO₂ sprawa emisji. Polityka energetyczna 2013, 62, 1392–1402. [\[Odniesienie\]](#)
22. Pata, Wielka Brytania Wpływ zużycia energii z węgla i węglowodanów na emisję CO₂: powrót do hipotezy środowiskowej krzywej Kuzneta dla Turcji. Energia 2018, 160, 1115–1123. [\[Odniesienie\]](#)
23. Koilo, V. Dowody na ekologiczną krzywą Kuzneta: uwalnianie możliwości Przemysł u 4.0 w gospodarkach wschodzących. J. Ryzyko finansowe. Zarządzaj. 2019, 12, 122. [\[Odn.Krzyż\]](#)
24. Pal, D.; Mitra, SK Środowiskowa krzywa Kuzneta dla dwutlenku węgla w Indiach i Chinach: wzrost i zanieczyszczenie na skrzyżowaniu. Model polityki. 2017, 39, 371–385. [\[Odniesienie\]](#)
25. Mikayilov, JJ; Galeotti, M.; Hasanov, FJ Wpływ wzrostu gospodarczego na emisję CO₂ w Azerbejdżanie; nr 102; IEFE, Centrum Badań nad Energią i Ekonomiką i Polityką Środowiskową, Università Bocconi: Mediolan, Włochy, 2018.

26. Moutinho, V.; Varum, C.; Madaleno, M. Jak wzrost gospodarczy wpływa na emisję? Badanie środowiskowej krzywej Kuzneta w portugalskich i hiszpańskich sektorach działalności gospodarczej. *Polityka Energetyczna* 2017, 106, 326–344. [\[Odniesienie\]](#)
27. Shahbaz, M.; Solarin, S.A.; Mahmood, H.; Arouri, M.E.H. Czy rozwój finansowy zmniejsza emisję CO₂ w malezyjskiej gospodarce? Analiza szeregów czasowych. *Ekon. Model.* 2013, 35, 145–152. [\[Odniesienie\]](#)
28. Boutabba, M.A. Wpływ rozwoju finansowego, dochodów, energii i handlu na emisję dwutlenku węgla: Dowody z indyjskiej gospodarki. *Ekon. Model.* 2014, 40, 33–41. [\[Odniesienie\]](#)
29. Bilgili, F.; Koçak, E.; Bulut, Ü. Dynamiczny wpływ zużycia energii odnawialnej na emisję CO₂: ponowne podejście do środowiskowej krzywej Kuzneta. *Odnaw. Podtrzymyw. Energia Rev.* 2016, 54, 838–845. [\[Odniesienie\]](#)
30. Saidi, K.; Omri, A. Wpływ energii odnawialnej na emisję dwutlenku węgla i wzrost gospodarczy w 15 głównych krajach zużywających energię odnawialną. *Otoczać. Rozdzielczość* 2020, 186, 109567. [\[Odn.Krzyż \]](#)
31. Bhattacharya, M.; Churchill, S.A.; Paramati, S.R. Dynamiczny wpływ energii odnawialnej i instytucji na wyniki gospodarcze i emisję CO₂ w regionach. *Odnaw. Energia* 2017, 111, 157–167. [\[Odniesienie\]](#)
32. Ali, R.; Bakhsh, K.; Yasin, M.A. Wpływ urbanizacji na emisję CO₂ w gospodarce wschodzącej: dowody z Pakistanu. *Podtrzymyw. Społ. Miast.* 2019, 48, 101553. [\[Odn.Krzyż \]](#)
33. Zafar, A.; Ullah, S.; Majeed, M.; Yasmineen, R. Zanieczyszczenie środowiska w gospodarkach azjatyckich: Czy kwestia industrializacji? *OPEC Energy Rev.* 2020, 44, 227–248. [\[Odniesienie\]](#)
34. Maneejuk, P.; Yamaka, W.; Sriboonchitta, S. Czy krzywa Kuzneta istnieje w Tajlandii? Dwie dekady perspektywa (1993–2015). *Anna. Dział. a. Rozdzielczość* 2019, 1–32. [\[Odniesienie\]](#)
35. Hansen, B.E. Załamanie regresyjne o nieznanym progu. *J. Aut. Ekon. Statystyka* 2017, 35, 228–240. [\[Odniesienie\]](#)
36. Zhang, Y.; Zhou, Q.; Jiang, L. Regresja załamania panelu z nieznanym progiem. *Ekon. Łódź* 2017, 157, 116–121. [\[Odniesienie\]](#)
37. Lee, S.-Y.; Piosenka, X.-Y. Ocena podejścia bayesowskiego i podejścia maksymalnego prawdopodobieństwa w analizie modeli równań strukturalnych przy małych próbach. *Wielowarstwowy. Zachowaj się. Rozdzielczość* 2004, 39, 653–686. [\[Odniesienie\]](#)
38. Van De Schoot, R.; Broere, J.; Perryck, K.H.; Zondervan-Zwijnenburg, M.; Van Loey, N.E. Analiza małych zbiorów danych za pomocą estymacji bayesowskiej: Przypadek objawów stresu pourazowego po wentylacji mechanicznej u osób, które przeżyły oparzenia. *EUR. J. Psychotraumatol.* 2015, 6, 25216. [\[Odn.Krzyż \]](#)
39. Muthén, L.K.; Muthén, B.O. Jak wykorzystać badanie Monte Carlo do określenia wielkości próby i określenia mocy. *Struktura. Równ. Model.* 2002, 9, 599–620. [\[Odniesienie\]](#)
40. Tarkhamtham, P.; Yamaka, W. Uogólniony estymator maksymalnej entropii wysokiego rzędu w modelu regresji załamania. *Tajski J. Matematyka.* 2019, 185–200. Dostępne w Internecie: <http://thaijmath.in.cmu.ac.th/index.php/thaijmath/artkuł/widok/3914> (dostęp 1 listopada 2020 r.).
41. Levin, A.; Lin, C.-F.; Chu, C.-S. Testy pierwiastków jednostkowych w danych panelowych: Właściwości asymptotyczne i próby skończonej. *J. Ekonom.* 2002, 108, 1–24. [\[Odniesienie\]](#)
42. Dickey, D.A.; Fuller, W.A. Rozkład estymatorów autoregresyjnych szeregów czasowych z pierwiastkiem jednostkowym. *J. Am. Statystyka.* 1979, 74, 427–431.
43. Shahbaz, M.; Shahzad, S.J.H.; Ahmad, N.; Alam, S. Rozwój finansowy i jakość środowiska: Droga naprzód. *Polityka Energetyczna* 2016, 98, 353–364. [\[Odniesienie\]](#)
44. Shahbaz, M.; Shahzad, S.J.H.; Alam, S.; Apergis, N. Globalizacja, wzrost gospodarczy i zużycie energii w regionie BRICS: Znaczenie asymetrii. *J. Int. Ekonomia handlu. Rozw.* 2018, 27, 985–1009. [\[Odniesienie\]](#)
45. Kiliç, C.; Balan, F. Czy istnieje środowiskowa krzywa Kuzneta w kształcie odwróconej litery U? *Panoeconomia* 2018, 65, 79–94. [\[Odniesienie\]](#)
46. Shoaib, H.M.; Rafique, M.Z.; Nadeem, A.M.; Huang, S. Wpływ rozwoju finansowego na emisję CO₂: analiza porównawcza krajów rozwijających się (D8) i krajów rozwiniętych (G8). *Otoczać. Nauka. Zanieczyszczać.* *Rozdzielczość Wewnętrzna* 2020, 27, 12461–12475. [\[Odniesienie\]](#)
47. Halliru, A.M.; Loganathan, N.; Hassana, A.G.; Mardani, A.; Kamyab, H. Ponowne zbadanie hipotezy środowiskowej krzywej Kuzneta we Wspólnocie Gospodarczej Państw Afryki Zachodniej: podejście panelowej regresji kwantylowej. *J. Czysty. Szturczać.* 2020, 276, 124247. [\[Odn. krzyż owe\]](#)
48. Engle, R.F.; Yoo, B.S. Prognozowanie i testowanie w systemach kointegrowanych. *J. Ekonom.* 1987, 35, 143–159. [\[Odniesienie\]](#)

49. Le Quéré C.; Andrzej, RM; Friedlingstein, P.; Sitch, S.; Pongratz, J.; Manning, AC; Korsbakken, JJ; Peters, lekarz rodzinny; Canadell, JG; Jacksona, RB; i in. Globalny budżet węglowy 2017. System ziemski. Nauka. Dane 2018, 10, 405–448. [\[Odniesienie\]](#)

50. Fanning, AL; O'Neill, DW Paradoxs dobrego samopoczucia i konsumpcji: szczęście, zdrowie, dochody i emisje gazów cieplarnianych w gospodarkach rozwijających się i nierosnących. J. Czystoty. Szturczyć. 2019, 212, 810–821. [\[Odniesienie\]](#)

Nota wydawcy: MDPI pozostaje neutralna w odniesieniu do roszczeń jurysdykcyjnych dotyczących publikowanych map i powiązań instytucjonalnych.



© 2020 autorstwa autorów. Licencjobiorca MDPI, Bazylea, Szwajcaria. Ten artykuł jest artykułem o otwartym dostępie, rozpowszechnianym na warunkach Creative Commons Uznanie autorstwa (CC BY) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).