



**INSTITUTE OF ECONOMICS
AND FINANCE**
UNIVERSITY OF SZCZECIN

Xiang WeiYi

Numer Albumu: 002420

AUTOREFERAT

**GREEN PRODUCTIVITY AND ITS DETERMINANTS:
A CROSS-REGIONAL ANALYSIS OF EAST ASIA AND
CENTRAL-EASTERN EUROPE**

Rozprawa doktorska

Promotor: dr hab. Małgorzata Guzowska, Prof. US

Słowa kluczowe:

zielona całkowita produktywność czynników produkcji (GTFP)
regulacje środowiskowe
hipoteza Portera
analiza danych panelowych

Szczecin, 2026

Spis treści

1. Wprowadzenie i uzasadnienie wyboru tematu	3
2. Problem badawczy, luka badawcza i motywacja badawcza	5
2.1 Główny problem badawczy	5
2.2 Zidentyfikowane luki badawcze i motywacja badawcza	6
3. Cel rozprawy	11
4. Pytania badawcze, zakres badań i hipotezy	12
4.1 Pytania badawcze	12
4.2 Zakres badań	12
4.3 Hipotezy badawcze	13
5. Tło teoretyczne i stan wiedzy	14
5.1 Zielony wzrost i zielona całkowita produktywność czynników produkcji	14
5.2 Regulacja środowiskowa a produktywność: debata teoretyczna	15
5.3 Dotychczasowa literatura empiryczna i pozycjonowanie niniejszego badania	16
6. Źródła, dane i metody badawcze	16
6.1 Źródła danych i konstrukcja zmiennych	17
6.2 Etap pierwszy: pomiar GTFP za pomocą indeksu DEA-Malmquista	18
6.3 Etap drugi: analiza ekonometryczna danych panelowych	19
7. Struktura rozprawy	20
8. Główne wyniki	21
8.1 Ogólne potwierdzenie hipotezy Portera	21
8.2 Heterogeniczność regionalna	23
8.3 Nieliniowość zależności	25
8.4 Efekty kanałów inwestycyjnych	25
8.5 Trwałość czasowa	26
9. Oryginalny wkład naukowy	26
10. Wnioski	28
11. Ograniczenia i kierunki dalszych badań	34
11.1 Ograniczenia	34
11.2 Kierunki przyszłych badań	34
Wykaz literatury	35

1. Wprowadzenie i uzasadnienie wyboru tematu

Globalne znaczenie zrównoważonego rozwoju i zielonego wzrostu wyraźnie wzrosło w odpowiedzi na nasilające się zmiany klimatyczne oraz postępującą degradację środowiska. Proces ten istotnie zmienił priorytety polityki gospodarczej zarówno w krajach wysoko rozwiniętych, jak i w gospodarkach rozwijających się, stawiając przed rządami konieczność godzenia rozwoju gospodarczego z wymogami trwałości ekologicznej. W Azji Wschodniej oraz Europie Środkowo-Wschodniej wdrażanie polityk zielonego wzrostu nie ogranicza się jedynie do przeciwdziałania degradacji środowiska. Jego celem jest również zapewnienie długookresowej stabilności gospodarczej oraz utrzymanie konkurencyjności międzynarodowej w warunkach rosnących ograniczeń zasobowych na rynkach globalnych.

W tym kontekście ujawnia się istotne napięcie pojęciowe. Zrównoważony rozwój, rozumiany jako zaspokajanie potrzeb obecnego pokolenia bez ograniczania możliwości zaspokajania potrzeb przez pokolenia przyszłe, stanowi szerokie ramy normatywne. Zielony wzrost ma natomiast bardziej jednoznaczny charakter, ponieważ zakłada aktywne traktowanie ochrony środowiska jako czynnika wspierającego wzrost gospodarczy (Stern, 2007). Przejście od postrzegania ochrony środowiska jako ograniczenia działalności gospodarczej do uznania jej za potencjalne źródło wzrostu stanowi podstawę teoretyczną hipotezy Portera testowanej w niniejszej rozprawie. W sytuacji, gdy krótkookresowa ekspansja gospodarcza dominuje w preferencjach wyborców, przedsiębiorstw i decydentów publicznych, działania na rzecz ochrony środowiska często napotykają opór. Koncepcja zielonego wzrostu pozwala przeformułować ten problem, wskazując, że odpowiednio zaprojektowane regulacje mogą pobudzać innowacje, a wynikające z nich korzyści mogą kompensować koszty dostosowania do wymogów środowiskowych (Porter, 1995). Należy przy tym podkreślić, że zielony wzrost nie jest jedyną koncepcją ujmującą relację między ochroną środowiska a rozwojem gospodarczym w ten sposób. Pokrewną, a zarazem bardziej rozwiniętą teoretycznie perspektywę stanowi modernizacja ekologiczna, obecna w dyskursie naukowym od lat dziewięćdziesiątych XX wieku, zwłaszcza w odniesieniu do gospodarek wysoko rozwiniętych (Mol & Spaargaren, 2000).

Empiryczna operacjonalizacja zielonego wzrostu wymaga zastosowania takiej miary produktywności, która pozwala jednocześnie uwzględnić wyniki gospodarcze i środowiskowe. Funkcję tę spełnia zielona całkowita produktywność czynników produkcji, określana dalej jako GTFP. W odróżnieniu od tradycyjnej całkowitej produktywności czynników produkcji, która traktuje zanieczyszczenia i emisje jako zjawiska zewnętrzne wobec procesu produkcji, GTFP

włącza niepożądane produkty tego procesu do rachunku produktywności. Dzięki temu stanowi miarę istotną z perspektywy dobrobytu społecznego, ponieważ pokazuje, z jaką efektywnością gospodarki przekształcają nakłady w pożądane rezultaty przy jednoczesnym uwzględnieniu środowiskowych efektów zewnętrznych (Ray & Desli, 1997; Lin et al., 2013). Instytucjonalnych źródeł tej koncepcji można upatrywać w działaniach Azjatyckiej Organizacji Produktywności po Szczycie Ziemi w Rio de Janeiro w 1992 roku. Organizacja ta definiowała zieloną produktywność jako strategię łączenia wzrostu produktywności z poprawą wyników środowiskowych, przy jednoczesnym wzmacnianiu rentowności i przewagi konkurencyjnej (Tuttle & Heap, 2007). GTFP przenosi tę logikę na poziom makroekonomiczny, umożliwiając porównywanie efektywności środowiskowo-ekonomicznej między krajami.

Wybór Azji Wschodniej i Europy Środkowo-Wschodniej jako głównych obszarów analizy wynika zarówno z ich znaczenia dla polityki klimatycznej i środowiskowej, jak i z ich niedostatecznej reprezentacji w porównawczej literaturze z zakresu ekonomii środowiska. Oba regiony w analizowanym okresie doświadczyły szybkiej industrializacji oraz znaczącego wzrostu intensywności polityki środowiskowej, jednak procesy te przebiegały w odmiennych warunkach instytucjonalnych. Gospodarki Azji Wschodniej realizowały w przeważającej mierze autonomiczne krajowe strategie regulacyjne, natomiast kraje Europy Środkowo-Wschodniej dostosowywały swoje systemy regulacyjne do zharmonizowanych ram Unii Europejskiej, przede wszystkim w związku z wymaganiami procesu akcesyjnego. Zbieżność czasowa tych przemian przy jednoczesnej odmienności trajektorii instytucjonalnych sprawia, że oba regiony stanowią uzasadniony przypadek porównawczy do badania wpływu konstrukcji regulacji środowiskowych na wyniki w zakresie zielonej produktywności.

Azja Wschodnia, obejmująca Chiny, Japonię i Koreę Południową, należy do największych na świecie obszarów emisji dwutlenku węgla i odpowiada za około 50% globalnych emisji gazów cieplarnianych (IEA, 2024). Region ten charakteryzuje się jednocześnie znacznym zróżnicowaniem instytucjonalnych rozwiązań w zakresie zarządzania środowiskowego — od silnie państwowego modelu regulacji w Chinach po bardziej rynkowo zorientowane instrumenty stosowane w Japonii i Korei Południowej (Mackerras, 2008; Linda, 2020). Europa Środkowo-Wschodnia, funkcjonująca w ramach architektury regulacyjnej Unii Europejskiej, stanowi odmienny przypadek konwergencji instytucjonalnej, kształtowanej przez wymagania akcesyjne oraz zharmonizowane standardy środowiskowe. Znaczenie tego porównania ma charakter nie tylko poznawczy, lecz także praktyczny. Oba regiony stoją przed kluczowymi decyzjami dotyczącymi tempa i modelu zielonej transformacji, a skuteczność przyjmowanych przez nie rozwiązań regulacyjnych ma istotne konsekwencje dla realizacji

globalnych celów redukcji emisji. Pomimo wspólnych doświadczeń historycznych i strukturalnych, które pozwalają traktować część analizowanych krajów jako reprezentatywne dla procesów transformacji postkomunistycznej (Carmin & VanDeveer, 2005; Bolibok et al., 2025), trajektorie ich zielonej produktywności nie były dotychczas przedmiotem systematycznego porównania z gospodarkami Azji Wschodniej.

Niniejsza rozprawa odpowiada na tę lukę badawczą, przedstawiając systematyczne i empirycznie rygorystyczne porównanie międzyregionalne. W badaniu zastosowano udział wpływów z podatków środowiskowych w PKB, jako podstawową miarę intensywności regulacji środowiskowych. Jest to instrument bezpośredni i porównywalny w skali międzynarodowej, który w dotychczasowych badaniach był często pomijany na rzecz opłat za zanieczyszczenia lub zmiennych zastępczych opartych na nakładach inwestycyjnych. Połączenie nieparametrycznego pomiaru produktywności z ekonometrią danych panelowych dla 28 krajów w okresie 22 lat pozwala uzyskać wiarygodne wyniki dotyczące wpływu regulacji środowiskowych na zieloną produktywność w różnych kontekstach instytucjonalnych. W kolejnych częściach autoreferatu przedstawiono problem badawczy, cele, pytania badawcze, zakres oraz hipotezy wyznaczające strukturę niniejszego badania.

W tym sensie rozprawa łączy problem pomiaru zielonej produktywności z oceną skuteczności regulacji środowiskowych w dwóch odmiennych układach instytucjonalnych: autonomicznych reżimach regulacyjnych Azji Wschodniej oraz zharmonizowanych ramach polityki środowiskowej Unii Europejskiej w Europie Środkowo-Wschodniej.

2. Problem badawczy, luka badawcza i motywacja badawcza

2.1 Główny problem badawczy

Główny problem badawczy rozprawy dotyczy **zależności przyczynowej między regulacjami środowiskowymi a zieloną całkowitą produktywnością czynników produkcji w regionach różniących się istotnie ramami instytucjonalnymi oraz trajektoriami rozwoju**. Debata teoretyczna między hipotezą Portera, zgodnie z którą właściwie zaprojektowane regulacje pobudzają innowacje i wzmacniają konkurencyjność, a hipotezą kosztów dostosowania, wskazującą, że obciążenia regulacyjne mogą odciągać zasoby od zastosowań produkcyjnych, od lat zajmuje ważne miejsce w literaturze, lecz nie doprowadziła dotąd do jednoznacznych rozstrzygnięć empirycznych. Brak takiego rozstrzygnięcia wynika nie tylko z rzeczywistej niejednoznaczności teoretycznej, ale także z utrzymujących się ograniczeń metodologicznych i geograficznych dostępnych badań.

Złożoność problemu pogłębia wielowymiarowy charakter samej GTFP. Jak wskazują Jaffe et al. (2003), zielona produktywność odzwierciedla stopień, w jakim gospodarki wykorzystują technologie przyjazne środowisku w relacji do kosztów ich wdrażania. Zależność ta jest jednocześnie uwarunkowana rygorystycznością regulacji, zdolnością instytucjonalną, położeniem względem granicy technologicznej oraz strukturą zasobu kapitału. Wyjaśnienie, w jaki sposób regulacje środowiskowe oddziałują na te czynniki oraz dlaczego ich efekty różnią się systematycznie między regionami, stanowi zasadnicze wyzwanie badawcze podejmowane w niniejszej rozprawie.

2.2 Zidentyfikowane luki badawcze i motywacja badawcza

Tabela 1 porządkuje główne nurty literatury empirycznej omówione w rozprawie, wskazując dla każdego z nich najważniejsze ustalenia, ujawnione ograniczenia metodologiczne lub geograficzne oraz wynikającą z nich lukę badawczą. Takie zestawienie pokazuje, że zidentyfikowane luki badawcze wynikają bezpośrednio z przeprowadzonego przeglądu literatury.

Tabela 1. Od literatury do luk badawczych: systematyczne mapowanie

Nurt literatury	Reprezentatywne badania	Kluczowe ustalenie	Zidentyfikowane ograniczenie	Luka badawcza
Metodologia pomiaru GTFP	Zhai i in. (2022); Wang i in. (2021b); Qian i in. (2021); Zhou i Ang (2008)	Warianty DEA-Malmquist i SBM skutecznie ujmują GTFP z uwzględnieniem niepożądanych wyników; DEA szczególnie odpowiednie dla kontekstów wieloproduktowych i mniejszych prób	Wszystkie badania operują na poziomie regionalnym lub miejskim w obrębie jednego kraju; brak przetestowanej metodologii pomiarowej w skali ponadnarodowej	Brak zwalidowanej metodologii spójnego pomiaru GTFP w gospodarkach narodowych o zróżnicowanym kontekście instytucjonalnym
Hipoteza Portera: efekty pozytywne	Zhang i in. (2011); Li i Wu (2017); Liu i Xin (2019); Albrizio i in. (2017)	Dobrze zaprojektowane regulacje pozytywnie wpływają na GTFP poprzez bodźce innowacyjne; pozytywne efekty przestrzenne; efekt skupiony wśród firm na granicy produktywności	Badania skupione na Chinach lub ograniczone do agregatu OECD; stosowane wskaźniki opłat za zanieczyszczenia jako zmienne zastępcze; trafność zewnętrzna niesprawdzona w kontekstach transformacyjnych	Brak przekrojowych dowodów makroekonomicznych na rzecz hipotezy Portera; mechanizm niezbadany poza analizami jednego kraju lub sektora
Hipoteza kosztów dostosowania : efekty negatywne	Tang i in. (2020); Zhang i Jiang (2019)	Regulacje administracyjne hamują TFP na poziomie przedsiębiorstwa; efekty negatywne dominują przy niskiej intensywności regulacji	Wyniki ograniczone do przemysłu chińskiego; projekty quasi-eksperymentalne nie mogą być replikowane w skali ponadnarodowej	Względna dominacja efektu Portera versus kosztów przestrzegania w zróżnicowanych systemach regulacyjnych i instytucjonalnych pozostaje nierozstrzygnięta
Związki nieliniowe i progowe	Wang i Shen (2016); Zheng i in. (2023); Du i in. (2021); Li i Li (2021)	Odwrócony kształt U lub kształt U w relacji regulacja–GTFP; poziom rozwoju i głębokość finansowa moderują efekty progowe	Wszystkie badania dotyczą zróżnicowania wewnątrz Chin; kształt i punkt zwrotny krzywej RS–GTFP w ponadnarodowych panelach nieznan	Istnienie i interpretacja polityczna nieliniowej dynamiki RS–GTFP na poziomie krajowym w zróżnicowanych gospodarkach pozostają niesprawdzone
Heterogenicz	Shen i in. (2020);	Umiejscowienie przestrzenne i typ regulacji	Heterogeniczność	Kwestia, jak harmonizacja UE

Nurt literatury	Reprezentatywne badania	Kluczowe ustalenie	Zidentyfikowane ograniczenie	Luka badawcza
ność regionalna i instytucjonalna	Xie i in. (2017); Yuan i Zhang (2021)	istotnie moderują wyniki polityki; heterogeniczne efekty w różnych regionach i instrumentach	udokumentowana wyłącznie wewnątrz Chin; żadne badanie nie porównuje regionów o zasadniczo różnych architekturach instytucjonalnych	versus autonomiczne ścieżki regulacyjne kształtują RS–GTFP w Azji Wschodniej i EŚW, pozostaje niezbadana
Mechanizmy BIZ i zielonej produktywności	Hipoteza przystani zanieczyszczeń; teoria efektów spillover; Wang i in. (2021)	Konkurujące prognozy: łagodne regulacje przyciągają BIZ intensywne emisyjnie; zielone BIZ wprowadzają czyste spillovers; efekt netto nieokreślony teoretycznie	Zagregowane efekty BIZ w ponadnarodowych panelach wieloregionalnych niezbadane; skład zielonych versus brązowych BIZ rzadko rozróżniany	Kwestia, czy efekt netto BIZ na GTFP jest neutralny w ponadregionalnym panelu obejmującym Azję Wschodnią i ESW, pozostaje nieznana
Formowanie kapitału i efekty rocznikowe kapitału	Teoria przestarzałego kapitału (Solow, 1960; Boucekkine i in., 1997); pułapka węglowa (Unruh, 2000)	Zasób kapitału intensywnego węglowo tworzy trwałe ograniczenia strukturalne; wczesne decyzje inwestycyjne utrwalają technologie nieefektywne środowiskowo z długofalowymi skutkami	Mechanizmy przestarzałego kapitału w dużej mierze teoretyczne lub ograniczone do jednego kraju; brak dowodów panelowych w gospodarkach transformacyjnych i zaawansowanych	Brak empirycznego uzasadnienia dla opóźnionych negatywnych efektów formowania kapitału na GTFP w ujęciu międzynarodowym
Trwałość czasowa i zależność od ścieżki	Literatura dynamicznych paneli; ramy uczenia się instytucjonalnego	Wyniki GTFP wykazują zależność od ścieżki poprzez utrwalone technologie i zdolności organizacyjne; trwałość modelowana przez specyfikacje z opóźnioną zmienną zależną	Niewiele badań stosuje dynamiczne metody panelowe dla GTFP na poziomie krajowym; współczynniki trwałości nieestymowane w ponadregionalnych ramach komparatystycznych	Kwestia istotności trwałości GTFP w ponadregionalnym panelu krajowym i jej implikacje dla długoterminowego projektowania polityki pozostają niesprawdzone

Źródło: opracowanie własne na podstawie rozprawy.

Uwaga: RS = Regulacja Środowiskowa; GTFP = Zielona Całkowita Produktywność Czynników Produkcji; BIZ = Bezpośrednie Inwestycje Zagraniczne; EŚW = Europa Środkowo-Wschodnia; DEA = Data Envelopment Analysis; SBM = Slack-Based Measure.

Zarówno Azja Wschodnia, jak i Europa Środkowo-Wschodnia znajdują się obecnie w kluczowym momencie zielonej transformacji. Azja Wschodnia, odpowiadająca za około połowę globalnych emisji gazów cieplarnianych (IEA, 2024), realizuje jedno z największych w historii skoordynowanych zobowiązań w zakresie osiągnięcia neutralności emisyjnej. Europa Środkowo-Wschodnia, funkcjonująca w ramach architektury regulacyjnej Unii Europejskiej, mierzy się natomiast równocześnie z wymaganiami zielonej modernizacji wynikającymi z pakietu „Fit for 55” oraz z dziedzictwem wysokoemisyjnych struktur przemysłowych ukształtowanych w okresie postkomunistycznym. Decyzje regulacyjne podejmowane przez te regiony w nadchodzącej dekadzie będą miały konsekwencje wykraczające daleko poza ich granice. Tymczasem dorobek naukowy, który powinien wspierać te decyzje, pozostaje obecnie silnie rozproszony.

Pierwsza, a zarazem najbardziej istotna luka badawcza ma charakter geograficzny. Azja Wschodnia i Europa Środkowo-Wschodnia niemal nigdy nie były analizowane łącznie w porównawczej literaturze z zakresu ekonomii środowiska. Dotychczasowe badania koncentrują się najczęściej na Unii Europejskiej jako całości, Ameryce Północnej albo wybranych gospodarkach azjatyckich ujmowanych odrębnie. Ponadto zdecydowana większość analiz dotyczy poszczególnych sektorów przemysłu, a nie gospodarek narodowych jako całości. Nie jest to jedynie luka bibliograficzna. Oba regiony przeszły proces szybkiej industrializacji w zbliżonym okresie, lecz podążały zasadniczo odmiennymi ścieżkami instytucjonalnymi. Kraje Europy Środkowo-Wschodniej, pod wpływem presji akcesyjnej, dostosowywały swoje systemy regulacji środowiskowych do zharmonizowanych ram Unii Europejskiej, podczas gdy gospodarki Azji Wschodniej rozwijały w znacznie większym stopniu autonomiczne modele regulacyjne. Skala tej odmienności instytucjonalnej jest istotna. Formalny poziom zgodności z głównymi dyrektywami środowiskowymi w Europie Środkowo-Wschodniej wynosi od 70 do 85%, natomiast skuteczność ich rzeczywistego wdrażania pozostaje na poziomie 50–70%, co prowadzi do utrzymywania się luki implementacyjnej rzędu 15–35% (Stępień et al., 2021). Akcesja do Unii Europejskiej przyczyniła się jednak do znaczącej konwergencji. Börzel i Buzogány (2019) wskazują, że luka implementacyjna w nowych państwach członkowskich zmniejszała się dzięki budowaniu zdolności instytucjonalnych w okresie przedakcesyjnym, natomiast Żylicz (2014) oraz Kiuiła (2018) pokazują, że instrumenty polityki środowiskowej w krajach Europy Środkowo-Wschodniej rozwijały się według zbliżonych trajektorii pod wpływem tych samych wymogów regulacyjnych. Gospodarki Azji Wschodniej w większym stopniu opierały się

natomiast na systemach handlu emisjami oraz instrumentach nakazowo-kontrolnych. Analizowanie tych regionów oddzielnie prowadzi zatem do wyników, które trudno ze sobą porównywać. Ich wspólna analiza, prowadzona względem jednolitego punktu odniesienia, pozwala przezwyciężyć to ograniczenie.

Druga luka badawcza dotyczy poziomu analizy. Dotychczasowe badania są zdominowane przez analizy sektorowe, które dobrze uchwytyją zmiany efektywności wewnątrz poszczególnych gałęzi przemysłu, lecz nie pozwalają wyjaśnić efektów zachodzących na poziomie całej gospodarki. Krajowy poziom GTFP zależy od międzysektorowej realokacji zasobów, zagregowanej zmiany technologicznej oraz struktury całego zasobu kapitału. Zjawisk tych nie można odtworzyć wyłącznie na podstawie danych sektorowych. Panelowa analiza na poziomie krajowym nie jest zatem prostym rozszerzeniem wcześniejszych badań, lecz stawia jakościowo odmienne pytanie: w jaki sposób regulacje środowiskowe wpływają na produktywność całych gospodarek.

Trzecia luka badawcza ma charakter metodologiczny i w istotny sposób ogranicza porównywalność międzyregionalną większości dotychczasowych badań międzynarodowych. W literaturze intensywność regulacji środowiskowych mierzy się najczęściej za pomocą stawek opłat za zanieczyszczenia, wydatków na dostosowanie do regulacji albo zmiennych zastępczych opartych na nakładach inwestycyjnych. Miary te są jednak konstruowane odmiennie w poszczególnych jurysdykcjach, odzwierciedlają raczej praktyki administracyjne niż samą intencję polityki regulacyjnej i nie są jednolicie dostępne dla pełnego zestawu krajów potrzebnych do analizy porównawczej. Udział dochodów z podatków środowiskowych w PKB mają pod tym względem przewagę: są bezpośrednio obserwowalne, standaryzowane międzynarodowo i można je interpretować jako czytelny sygnał cenowy kierowany przez regulatora do producentów. Przyjęcie stawek podatków środowiskowych jako podstawowej miary dla wszystkich 28 krajów pozwala zbudować wspólną podstawę analityczną, której brakowało wcześniejszym badaniom międzyregionalnym.

Łącznie wskazane trzy luki badawcze wyznaczają precyzyjnie określoną przestrzeń badawczą: dotychczas nie przeprowadzono badania, które analizowałoby wpływ stawek podatków środowiskowych na zieloną całkowitą produktywność czynników produkcji jednocześnie w Azji Wschodniej i Europie Środkowo-Wschodniej, na poziomie gospodarek narodowych, w kluczowym okresie polityki środowiskowej obejmującym lata 2000–2021. Niniejsza rozprawa wypełnia tę lukę. Tabela 1 porządkuje główne nurty literatury empirycznej, wskazując ich podstawowe ustalenia, ujawnione ograniczenia metodologiczne lub

geograficzne oraz wynikające z nich luki badawcze, które uzasadniają podjęcie niniejszego badania.

3. Cel rozprawy

W nawiązaniu do zidentyfikowanych luk badawczych rozprawa realizuje jeden cel główny oraz cztery cele szczegółowe. Głównym celem rozprawy jest **zbadanie zależności między intensywnością regulacji środowiskowych, mierzoną udziałem wpływów z podatków środowiskowych w PKB, a zieloną całkowitą produktywnością czynników produkcji w Azji Wschodniej i Europie Środkowo-Wschodniej**. Cel ten obejmuje również identyfikację mechanizmów różnicujących tę zależność, w szczególności heterogeniczności regionalnej, nieliniowości efektów, roli BIZ, formowania kapitału oraz trwałości zmian produktywności. Realizacja celu głównego wymaga osiągnięcia czterech celów szczegółowych:

1. Zastosowania metodyki pomiaru zielonej całkowitej produktywności czynników produkcji dla zróżnicowanego panelu 28 krajów w latach 2000–2021, z uwzględnieniem zarówno pożądaných wyników gospodarczych, jak i niepożądanych efektów środowiskowych w ramach indeksu DEA-Malmquista.
2. Oszacowania podstawowego przyczynowego wpływu stawek podatków środowiskowych na zieloną całkowitą produktywność czynników produkcji z wykorzystaniem ekonometrycznych metod analizy danych panelowych oraz odpowiednich zmiennych kontrolnych opisujących determinanty gospodarcze, instytucjonalne i strukturalne.
3. Weryfikacji występowania systematycznej heterogeniczności regionalnej w relacji między regulacjami środowiskowymi a zieloną produktywnością, poprzez porównanie Azji Wschodniej i Europy Środkowo-Wschodniej względem państw bałtyckich traktowanych jako punkt odniesienia dla ugruntowanego modelu polityki środowiskowej Unii Europejskiej.
4. Zbadania dynamicznych właściwości analizowanej relacji, w tym możliwych efektów nieliniowych, trwałości czasowej oraz efektów kapitału typu vintage, które mogą generować długookresowe ograniczenia trajektorii zielonej produktywności.

Rozprawa wykracza zatem poza binarną debatę między hipotezą Portera a hipotezą kosztów dostosowania do regulacji, formułując bardziej złożone pytanie: w jakich warunkach instytucjonalnych i rozwojowych regulacje środowiskowe stają się katalizatorem zielonej modernizacji, a kiedy prowadzą przede wszystkim do wzrostu netto kosztów dostosowania?

Empiryczna odpowiedź na to pytanie ma bezpośrednie znaczenie dla projektowania regulacji środowiskowych w obu analizowanych regionach.

4. Pytania badawcze, zakres badań i hipotezy

4.1 Pytania badawcze

Empiryczną część rozprawy porządkuje pięć pytań badawczych sformułowanych w dysertacji. Są one bezpośrednio powiązane z przedstawionymi wcześniej celami szczegółowymi:

PB1: W jaki sposób można skutecznie mierzyć zieloną całkowitą produktywność czynników produkcji w zróżnicowanych kontekstach regionalnych?

PB2: Jaka jest empirycznie identyfikowana zależność między regulacjami środowiskowymi a zieloną całkowitą produktywnością czynników produkcji w różnych kontekstach instytucjonalnych?

PB3: W jaki sposób skuteczność regulacji środowiskowych różni się między Azją Wschodnią a Europą Środkowo-Wschodnią?

PB4: Jaką rolę w kształtowaniu zielonej produktywności odgrywają bezpośrednie inwestycje zagraniczne oraz formowanie kapitału?

PB5: Na ile trwale są zmiany zielonej produktywności i jakie czynniki kształtują ich dynamikę w czasie?

Pierwsze pytanie badawcze uzasadnia zastosowaną w pierwszym etapie metodykę pomiaru GTFP. Drugie stanowi centralne pytanie przyczynowe, weryfikowane za pomocą podstawowych modeli ekonometrycznych. Trzecie wyznacza kierunek analizy heterogeniczności regionalnej. Czwarte odnosi się do mechanizmów inwestycyjnych, natomiast piąte uzasadnia wykorzystanie dynamicznych specyfikacji panelowych. Łącznie pytania te określają zakres oraz logiczną strukturę empirycznych rozdziałów rozprawy.

4.2 Zakres badań

Badanie oparto na zbilansowanym panelu obejmującym 28 krajów obserwowanych w latach 2000–2021, co daje łącznie 616 obserwacji kraj–rok. Główna analiza porównawcza koncentruje się na dwóch regionach charakteryzujących się odmiennymi ramami instytucjonalnymi i trajektoriami rozwoju:

Azja Wschodnia — 3 kraje: Chiny, Japonia i Korea Południowa.

Europa Środkowo-Wschodnia — 7 krajów: Bułgaria, Czechy, Węgry, Polska, Rumunia, Słowacja i Słowenia.

Grupa odniesienia — 18 krajów: państwa bałtyckie, tj. Estonia, Łotwa i Litwa, oraz wybrane państwa członkowskie Unii Europejskiej: Austria, Belgia, Chorwacja, Cypr, Dania, Finlandia, Francja, Niemcy, Grecja, Irlandia, Włochy, Luksemburg, Niderlandy, Portugalia i Szwecja.

Dobór krajów był uwarunkowany dostępnością danych oraz zgodnością z celami badania. Estymacja modeli panelowych z efektami stałymi wymaga odpowiedniego zróżnicowania przekrojowego, dlatego konieczne było włączenie do próby także krajów spoza dwóch podstawowych grup porównawczych. Państwa bałtyckie pełnią funkcję punktu odniesienia w analizie interakcji regionalnych ze względu na bliskość geograficzną wobec Europy Środkowo-Wschodniej, uczestnictwo we wspólnych unijnych ramach regulacji środowiskowych oraz podobieństwo części rozwiązań instytucjonalnych. Taka grupa odniesienia umożliwia systematyczne porównanie skuteczności regulacji środowiskowych w Azji Wschodniej i Europie Środkowo-Wschodniej względem ugruntowanego wzorca polityki środowiskowej Unii Europejskiej. Pozostałe państwa członkowskie UE dostarczają dodatkowych obserwacji potrzebnych do bardziej wiarygodnej estymacji granicy produktywności, pozostając jednocześnie poza głównym porównaniem regionalnym.

4.3 Hipotezy badawcze

W oparciu o ramy teoretyczne oraz zidentyfikowane luki badawcze, proces analizy empirycznej oparto na sześciu hipotezach:

H1: Regulacje środowiskowe wpływają pozytywnie na zieloną całkowitą produktywność czynników produkcji (GTFP), co jest zgodne z hipotezą Portera zakładającą, że odpowiednio zaprojektowana polityka środowiskowa stymuluje innowacje oraz poprawę efektywności.

H2: Relacja między regulacjami środowiskowymi a GTFP ma charakter nieliniowy, a skuteczność regulacji wzrasta po przekroczeniu określonego poziomu intensywności polityki środowiskowej.

H3: Skuteczność regulacji środowiskowych wykazuje zróżnicowanie regionalne wynikające z różnic w jakości instytucjonalnej, stadium rozwoju gospodarczego oraz strukturze przemysłowej.

H4: Zagregowany wpływ BIZ na GTFP jest neutralny, ponieważ pozytywne efekty inwestycji zielonych mogą być kompensowane przez negatywne efekty inwestycji emisyjnych.

H5: Formowanie kapitału oddziałuje negatywnie na GTFP z opóźnieniem, ponieważ wcześniejsze inwestycje wysokoemisyjne utrwalają ograniczenia technologiczne i infrastrukturalne.

H6: Zielona całkowita produktywność czynników produkcji wykazuje trwałość czasową, co oznacza, że wcześniejsze wyniki wpływają na bieżące rezultaty poprzez zakorzenione technologie oraz efekty uczenia się instytucjonalnego.

5. Tło teoretyczne i stan wiedzy

Po przedstawieniu pytań badawczych i hipotez niniejsza część sytuuje rozprawę w szerszym kontekście dyskusji naukowej. Obejmuje ona przegląd ram teoretycznych stanowiących podstawę analizy empirycznej oraz wskazuje główne nurty dotychczasowej literatury, do których odwołuje się i które rozwija niniejsze badanie.

5.1 Zielony wzrost i zielona całkowita produktywność czynników produkcji

Podstawy koncepcyjne rozprawy znajdują się na styku dwóch obszarów teorii: ekonomii zielonego wzrostu oraz pomiaru całkowitej produktywności czynników produkcji w warunkach ograniczeń środowiskowych. Zielony wzrost, jako paradygmat polityki gospodarczej, wykształcił się w odpowiedzi na dostrzeganą sprzeczność między tradycyjnymi modelami wzrostu a trwałością środowiskową. O ile zrównoważony rozwój akcentuje sprawiedliwość międzypokoleniową oraz szerokie cele normatywne, o tyle zielony wzrost koncentruje się na takim przekształcaniu aktywności gospodarczej, aby zasoby naturalne nadal dostarczały usług, od których zależy dobrobyt społeczny (Stern, 2007). Rozróżnienie to ma istotne znaczenie dla pomiaru, ponieważ zielony wzrost wymaga zastosowania miar produktywności, które jednocześnie ujmują wyniki gospodarcze i sposób zarządzania presją środowiskową.

Zielona całkowita produktywność czynników produkcji odpowiada na tę potrzebę, rozszerzając tradycyjne ujęcie TFP o niepożądane efekty procesu produkcji. Klasyczne miary całkowitej produktywności czynników produkcji traktują zanieczyszczenia i emisje jako zjawiska zewnętrzne wobec produkcji, co prowadzi do zawyżania efektywności gospodarek wysokoemisyjnych. GTFP koryguje to ograniczenie, uznając niepożądane produkty za współwystępujące rezultaty działalności gospodarczej, które generują rzeczywiste koszty dobrobytowe. Jak wskazują Ray i Desli (1997), pomijanie tych efektów może prowadzić do zniekształconej oceny dobrobytu społecznego oraz do formułowania nietrafnych rekomendacji politycznych. Lin et al. (2013) rozwijają ten argument, pokazując, że GTFP mierzy zdolność

gospodarki do zwiększania pożądaných wyników przy jednoczesnym ograniczaniu środowiskowych produktów ubocznych i efektywnym wykorzystaniu nakładów. Jaffe et al. (2003) ujmują natomiast GTFP jako miarę stopnia, w jakim gospodarki wykorzystują technologie przyjazne środowisku w relacji do kosztów ich wdrażania.

W niniejszej rozprawie GTFP jest definiowana na poziomie makroekonomicznym jako zagregowana produktywność całej gospodarki narodowej. W ujęciu empirycznym uwzględnia ona PKB jako pożądaný wynik procesu produkcji oraz emisję dwutlenku węgla jako podstawowy niepożądany efekt środowiskowy, przy jednoczesnym traktowaniu pracy i kapitału jako nakładów. Taka definicja jest spójna z porównawczym, międzyregionalnym charakterem badania obejmującego Azję Wschodnią i Europę Środkowo-Wschodnią oraz umożliwia jednolity pomiar w panelu 28 krajów.

5.2 Regulacja środowiskowa a produktywność: debata teoretyczna

Teoretyczna relacja między regulacjami środowiskowymi a produktywnością stanowi przedmiot intensywnej debaty naukowej od początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku. W literaturze dominują dwa konkurencyjne ujęcia. Hipoteza kosztów dostosowania, zakorzeniona w neoklasycznej teorii produkcji, zakłada, że regulacje środowiskowe nakładają na podmioty gospodarcze koszty poprzez przesunięcie części zasobów produkcyjnych w kierunku działań ograniczających zanieczyszczenia. W rezultacie zmniejsza się ilość kapitału i pracy dostępna dla działalności bezpośrednio zwiększającej produkcję. W tym ujęciu zaostrzenie regulacji prowadzi do spadku produktywności, przy czym skala tego efektu zależy od konstrukcji instrumentów regulacyjnych oraz elastyczności substytucji między czystymi i wysokoemisyjnymi nakładami.

Hipoteza Portera stanowi bezpośrednie wyzwanie dla tej pesymistycznej interpretacji. Porter (1995) argumentuje, że właściwie zaprojektowane regulacje środowiskowe mogą pobudzać innowacje i poprawę efektywności w stopniu przewyższającym koszty dostosowania, generując tak zwany efekt kompensacji innowacyjnej. W dobrze zaprojektowanym otoczeniu regulacyjnym presja związana ze spełnianiem standardów środowiskowych skłania przedsiębiorstwa do rozwijania czystszych technologii, poprawy efektywności wykorzystania zasobów oraz identyfikowania usprawnień procesowych, które w warunkach inercji organizacyjnej i asymetrii informacji mogłyby pozostać niewykorzystane. Przejście od postrzegania ochrony środowiska jako ograniczenia do uznania jej za potencjalne źródło wzrostu stanowi podstawę hipotezy H1 w niniejszej rozprawie.

Dotychczasowe wyniki empiryczne w tej debacie pozostają niejednoznaczne. Badania wskazują zarówno pozytywne, negatywne, jak i nieliniowe relacje między regulacjami środowiskowymi a produktywnością, w zależności od konstrukcji regulacji, kontekstu instytucjonalnego, zastosowanych miar oraz przyjętego horyzontu czasowego. Ta niejednoznaczność uzasadnia zastosowane w rozprawie podejście oparte na wielu specyfikacjach modelowych, które pozwala testować nie tylko kierunek, lecz także kształt oraz regionalne uwarunkowania relacji między regulacjami a produktywnością.

5.3 Dotychczasowa literatura empiryczna i pozycjonowanie niniejszego badania

Literatura empiryczna dotycząca regulacji środowiskowych i GTFP znacząco rozwinęła się w ostatnich dwóch dekadach, jednak nadal pozostawia istotne luki badawcze. Badania koncentrujące się na Chinach przynoszą niejednoznaczne wyniki: część z nich wskazuje, że regulacje środowiskowe wspierają wzrost GTFP poprzez bodźce innowacyjne, podczas gdy inne identyfikują efekty kosztów dostosowania, dominujące zwłaszcza w krótkim okresie. Badania dotyczące państw członkowskich Unii Europejskiej częściej wskazują efekty pozytywne lub neutralne, co jest spójne z założeniem, że zdolność instytucjonalna unijnego systemu zarządzania środowiskowego sprzyja dostosowaniom opartym na innowacjach. Porównawcze analizy obejmujące jednocześnie Azję i Europę pozostają natomiast rzadkie, a istniejące badania zazwyczaj wykorzystują miary oparte na opłatach za zanieczyszczenia, które nie są bezpośrednio porównywalne między różnymi systemami regulacyjnymi.

Niniejsza rozprawa lokuje się na pograniczu współczesnej porównawczej literatury międzyregionalnej. Zastosowanie stawek podatków środowiskowych jako jednolitej miary intensywności regulacyjnej dla wszystkich 28 krajów umożliwia systematyczne porównanie skuteczności regulacji między gospodarkami Azji Wschodniej, funkcjonującymi w ramach w znacznej mierze autonomicznych systemów regulacyjnych, a gospodarkami Europy Środkowo-Wschodniej, osadzonymi w zharmonizowanej architekturze środowiskowej Unii Europejskiej. Państwa bałtyckie, które dzielą z Europą Środkowo-Wschodnią unijne ramy instytucjonalne, lecz osiągnęły bardziej zaawansowany etap dojrzałości regulacyjnej, pełnią funkcję wartościowego metodologicznego punktu odniesienia. Pozwala to precyzyjniej identyfikować heterogeniczność instytucjonalną i rozwojową w analizowanej relacji.

6. Źródła, dane i metody badawcze

Koncepcja metodologiczna niniejszej rozprawy została zaprojektowana w celu rozwiązania dwóch wzajemnie powiązanych wyzwań leżących u podstaw problemu

badawczego: pomiaru zielonej produktywności w sposób porównywalny dla 28 instytucjonalnie zróżnicowanych krajów oraz identyfikacji przyczynowego efektu regulacji środowiskowej na tę miarę produktywności. Analiza przebiega w dwóch etapach, z których każdy odpowiada na jedno z tych wyzwań.

6.1 Źródła danych i konstrukcja zmiennych

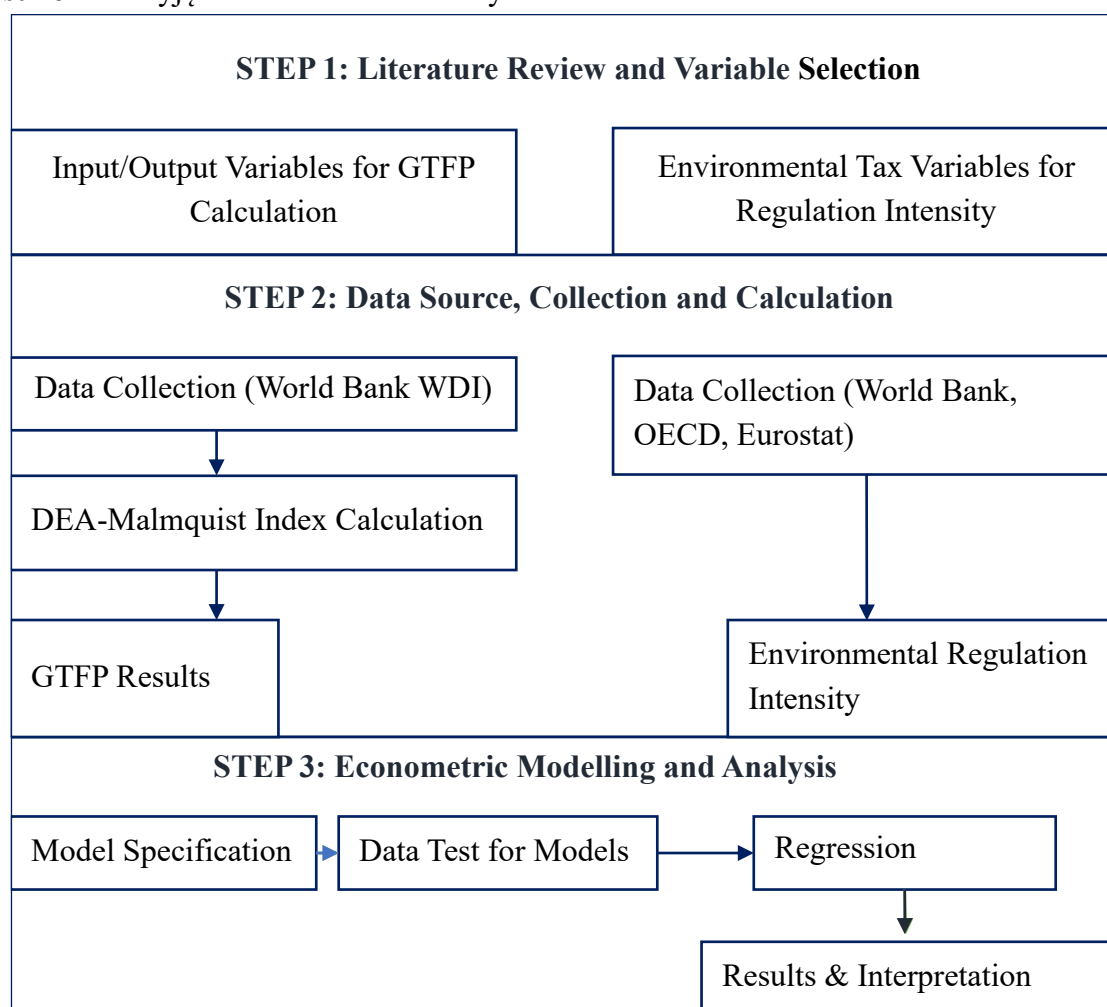
Analiza empiryczna została oparta na zbilansowanym panelu obejmującym 28 krajów w latach 2000–2021, co daje łącznie 616 obserwacji typu kraj–rok. Przyjęty horyzont czasowy obejmuje kluczowe momenty instytucjonalne, w tym rozszerzenie Unii Europejskiej o kraje Europy Środkowo-Wschodniej w 2004 roku oraz przystąpienie Chin do Światowej Organizacji Handlu w 2001 roku. Jednocześnie długość szeregu czasowego zapewnia odpowiednie podstawy do zastosowania dynamicznej analizy panelowej.

Zmienne wejściowe wykorzystane do obliczenia GTFP obejmują: *kapitał*, mierzony nakładami brutto na środki trwałe w dolarach amerykańskich według cen stałych z 2015 roku; *pracę*, mierzoną całkowitą liczbą osób aktywnych zawodowo; *energię*, określoną za pomocą wskaźnika skorygowanych oszczędności z tytułu wyczerpywania zasobów energetycznych w bieżących dolarach amerykańskich; oraz *wodę*, mierzoną rocznym poborem wody słodkiej w miliardach metrów sześciennych. Pożądanym wynikiem procesu produkcji jest PKB wyrażony w dolarach amerykańskich według cen stałych z 2015 roku. Do analizy włączono również dwa niepożądane *wyniki środowiskowe*: całkowite emisje gazów cieplarnianych, wyrażone w kilotonach ekwiwalentu CO₂, oraz *szkody wynikające z emisji dwutlenku węgla*, wyrażone w bieżących dolarach amerykańskich. Wszystkie zmienne wejściowe i wynikowe pochodzą z bazy World Development Indicators Banku Światowego, co zapewnia standaryzację pomiaru między krajami i w czasie.

Podstawową zmienną niezależną, odzwierciedlającą intensywność regulacji środowiskowych, są *dochody z podatków środowiskowych* wyrażone jako procent PKB. Dane te pochodzą z Międzynarodowego Funduszu Walutowego. Zmienne kontrolne obejmują bezpośrednie inwestycje zagraniczne, strukturę energetyczną, energochłonność oraz nakłady brutto na środki trwałe, przy czym wszystkie zostały pozyskane z bazy World Development Indicators Banku Światowego. Zmienne te odzwierciedlają główne kanały, poprzez które regulacje środowiskowe mogą oddziaływać na zieloną produktywność, w tym przepływy inwestycji międzynarodowych, strukturę wykorzystania energii oraz dynamikę akumulacji kapitału.

Ramy analityczne badania obejmują trzy kroki organizacyjne przedstawione na rysunku 1: przegląd literatury i dobór zmiennych, pozyskanie danych oraz obliczenie GTFP, a następnie modelowanie ekonometryczne. W sensie metodologicznym właściwa analiza empiryczna przebiega natomiast w dwóch zasadniczych etapach: pomiaru GTFP oraz estymacji modeli panelowych. Takie uporządkowanie zapewnia spójny pomiar zarówno zmiennej objaśnianej, jak i zmiennych objaśniających, przy jednoczesnym zachowaniu porównywalności metodologicznej w analizie międzyregionalnej.

Rysunek 1 Przyjęte kroki w analizie danych



Źródło: opracowanie własne

6.2 Etap pierwszy: pomiar GTFP za pomocą indeksu DEA-Malmquista

Pierwszy etap analizy polega na pomiarze zielonej całkowitej produktywności czynników produkcji z wykorzystaniem indeksu Malmquista w ramach metody Data Envelopment Analysis, dalej określanej jako DEA-Malmquist. Jest to podejście nieparametryczne,

szczególnie przydatne w porównaniach produktywności między krajami, ponieważ nie wymaga narzucania restrykcyjnej postaci funkcyjnej technologii produkcji. Indeks DEA-Malmquista pozwala zdekomponować zmianę produktywności na dwa składniki: zmianę efektywności, która wskazuje, czy dany kraj zbliża się do granicy produkcyjnej, czy się od niej oddala, oraz zmianę technologiczną, która odzwierciedla przesunięcia samej granicy produkcyjnej.

Rozszerzenie standardowego podejścia Malmquista o niepożądane wyniki procesu produkcji opiera się na funkcji odległości kierunkowej. Podejście to modyfikuje klasyczny pomiar efektywności w taki sposób, aby dla danego wektora nakładów jednocześnie maksymalizować pożądane wyniki i minimalizować wyniki niepożądane. Emisje gazów cieplarnianych oraz szkody wynikające z emisji dwutlenku węgla są traktowane jako niepożądane współprodukty działalności gospodarczej, występujące obok PKB. Dzięki temu kraje osiągające wysoką produkcję gospodarczą kosztem wysokich efektów zewnętrznych dla środowiska nie są oceniane jako bardziej produktywne niż kraje uzyskujące porównywalne wyniki gospodarcze przy niższych kosztach środowiskowych. Otrzymany indeks GTFP jest obliczany dla każdego kraju i każdego roku panelu, a następnie wykorzystywany jako zmienna objaśniana w drugim etapie analizy regresyjnej.

Pomiar granicy efektywności w procedurze DEA-Malmquista oparto na szerszym zbiorze krajów, natomiast właściwa analiza ekonometryczna została przeprowadzona dla zbilansowanego panelu 28 krajów w latach 2000–2021.

6.3 Etap drugi: analiza ekonometryczna danych panelowych

Drugi etap badania obejmuje sekwencję specyfikacji ekonometrycznych dla danych panelowych, służących analizie determinant GTFP oraz weryfikacji sześciu hipotez badawczych. Analiza obejmuje pięć typów modeli, z których każdy odpowiada na inny wymiar problemu badawczego.

Podstawowy model z efektami stałymi służy określeniu wyjściowej zależności między regulacjami środowiskowymi a GTFP:

$$GTFP_{i,t} = \alpha + \beta_1 ER_{i,t} + X_{i,t}\gamma + \lambda_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

gdzie α oznacza wyraz wolny, natomiast i oraz t wskazują odpowiednio kraj i rok. Zmienna $GTFP_{i,t}$ oznacza zieloną całkowitą produktywność czynników produkcji kraju i w roku t . Zmienna $ER_{i,t}$ określa poziom regulacji środowiskowych, natomiast $X_{i,t}$ jest wektorem zmiennych kontrolnych obejmujących bezpośrednie inwestycje zagraniczne, strukturę

energetyczną, energochłonność oraz nakłady brutto na środki trwałe. Specyfikacja uwzględnia efekty stałe dla lat λ_t oraz efekty stałe dla krajów μ_i , co pozwala kontrolować nieobserwowalną heterogeniczność w czasie i między krajami. Składnik ε_{it} oznacza składnik losowy

W celu ograniczenia problemu potencjalnej endogeniczności wynikającej z odwrotnej przyczynowości i jednoczesności zależności zastosowano również specyfikację ze zmiennymi opóźnionymi. W tym wariancie bieżąca wartość GTFP jest wyjaśniana przez wcześniejsze wartości regulacji środowiskowych oraz zmiennych kontrolnych, co pozwala zachować następstwo czasowe między potencjalną przyczyną a skutkiem. Dodatkowo zastosowano dynamiczną specyfikację panelową, w której opóźniona wartość GTFP występuje jako zmienna objaśniająca, umożliwiając uchwycenie trwałości i zależności od ścieżki w kształtowaniu się zielonej produktywności.

Modele z interakcjami regionalnymi służą weryfikacji zróżnicowania efektów regulacji środowiskowych między trzema grupami regionalnymi:

$$GTFP_{i,t} = \alpha + \beta_0 ER_{i,t} + \beta_1 (ER_{i,t} \times Region1_i) + \beta_2 (ER_{i,t} \times Region2_i) + X_{i,t} \gamma + \lambda_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

gdzie $Region1_i$ przyjmuje wartość 1, jeżeli kraj i należy do Azji Wschodniej, oraz 0 w przeciwnym przypadku. Zmienna $Region2_i$ przyjmuje wartość 1, jeżeli kraj i należy do Europy Środkowo-Wschodniej, oraz 0 w przeciwnym przypadku. Państwa bałtyckie stanowią kategorię odniesienia. Współczynnik β_0 mierzy wpływ regulacji środowiskowych na GTFP w państwach bałtyckich, natomiast współczynniki β_1 i β_2 określają różnicę efektów odpowiednio dla Azji Wschodniej i Europy Środkowo-Wschodniej względem państw bałtyckich. Całkowity efekt regulacji środowiskowych dla Azji Wschodniej wynosi $\beta_0 + \beta_1$, natomiast dla Europy Środkowo-Wschodniej $\beta_0 + \beta_2$.

Człony interakcyjne pozwalają uchwycić regionalnie zróżnicowaną skuteczność regulacji środowiskowych, a tym samym sprawdzić, czy polityki środowiskowe działają odmiennie w różnych kontekstach instytucjonalnych. Takie podejście zakłada, że optymalna konstrukcja polityki środowiskowej może w istotnym stopniu zależeć od warunków lokalnych, poziomu rozwoju oraz istniejących zdolności instytucjonalnych.

7. Struktura rozprawy

Rozdział 1 przedstawia podstawy teoretyczne rozprawy w oparciu o szeroki przegląd literatury. Omawia relację między regulacjami środowiskowymi a zieloną produktywnością

oraz identyfikuje luki badawcze, do których odnosi się niniejsze badanie. Rozdział ten sytuuje rozprawę w dotychczasowym dorobku naukowym z zakresu ekonomii środowiska, zielonego wzrostu i produktywności.

Rozdział 2 poświęcony jest metodom ekonometrycznym zastosowanym w analizie. Obejmuje opis indeksu DEA-Malmquista wykorzystanego do pomiaru GTFP oraz technik panelowych użytych w analizie regresyjnej. Zastosowane podejścia metodologiczne mają kluczowe znaczenie dla wiarygodnej identyfikacji zależności przyczynowych w międzykrajowej analizie polityki środowiskowej.

Rozdział 3 przedstawia strategię gromadzenia danych, konstrukcję zmiennych oraz analizę opisową. W rozdziale tym ukazano istotne międzyregionalne zróżnicowanie podejść do polityki środowiskowej oraz wyników w zakresie zielonej produktywności. Zróżnicowanie to stanowi empiryczną podstawę dalszej analizy porównawczej między regionami.

Rozdział 4 stanowi zasadniczą część empiryczną rozprawy. Prezentuje wyniki uzyskane na podstawie wielu specyfikacji modelowych, umożliwiających ocenę odporności rezultatów oraz analizę efektów dynamicznych, heterogeniczności regionalnej i potencjalnej nieliniowości badanej relacji.

Rozdział 5 omawia wyniki empiryczne w odniesieniu do sformułowanych hipotez badawczych oraz interpretuje je w świetle istniejących ram teoretycznych. Rozdział ten wskazuje również wkład teoretyczny wynikający z przeprowadzonej analizy międzyregionalnej.

Rozdział 6 zamyka rozprawę, syntetyzując najważniejsze ustalenia, omawiając implikacje dla projektowania regulacji środowiskowych, wskazując ograniczenia badania oraz przedstawiając kierunki dalszych badań.

8. Główne wyniki

Analiza empiryczna dostarcza zestawu wyników odpowiadających na pięć pytań badawczych oraz umożliwiających systematyczną weryfikację sześciu hipotez. Wyniki przedstawiono poniżej zgodnie z kolejnością hipotez, przechodząc od relacji zagregowanej, przez jej zróżnicowanie regionalne, po właściwości dynamiczne.

8.1 Ogólne potwierdzenie hipotezy Portera

Podstawowe modele z efektami stałymi dostarczają istotnego wsparcia dla hipotezy H1. W całym panelu obejmującym 28 krajów regulacje środowiskowe wywierają statystycznie istotny, pozytywny wpływ na zieloną całkowitą produktywność czynników produkcji. Wynik

ten jest zgodny z hipotezą Portera, według której odpowiednio zaprojektowane polityki środowiskowe mogą pobudzać innowacje oraz poprawę efektywności. Uzyskana zależność pozostaje stabilna w różnych specyfikacjach modelowych i jest odporna na alternatywne założenia dotyczące błędów standardowych, w tym klasyczne błędy standardowe, błędy odporne na heteroskedastyczność oraz błędy klastrowane.

Pozytywny efekt w modelu bazowym oznacza, że przeciętnie w analizowanym panelu wyższa intensywność podatków środowiskowych mierzona udziałem wpływów podatkowych w PKB wiąże się z poprawą GTFP po uwzględnieniu bezpośrednich inwestycji zagranicznych, formowania kapitału, otwartości handlowej oraz efektów stałych dla krajów i lat. Wynik ten rozwija empiryczną literaturę wspierającą hipotezę Portera na poziomie makroekonomicznym i wskazuje, że mechanizm kompensacji innowacyjnej opisany przez Portera (1995) może działać nie tylko na poziomie przedsiębiorstw, lecz także na poziomie zagregowanych gospodarek narodowych.

Tabela 2. Podsumowanie głównych wyników regresji

Zmienna	Model 1 (bazowy z efektami stałymi)	Model 2 (z opóźnieniami)	Model 3 (dynamiczny)	Model 4 (z interakcjami regionalnymi)	Model 5 (kwadratowy)
<i>ER</i>	0.0424**		0.01	-0.0455**	-0.0084
<i>ER_{t-1}</i>		0.0360*			
<i>GTFP_{t-1}</i>			0.8318***		
<i>ER²</i>					0.016*
<i>East Asia × ER</i>				-0.050	
<i>CEE × ER</i>				0.1315***	
Observations	616	588	588	286	616
R ²	0.9005	0.9083	0.9751	0.9413	0.9011

Uwaga: Odporne błędy standardowe klastrowane na poziomie kraju. *** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$; * $p < 0,1$. Zmienne kontrolne (BIZ, ES, EI, GCF) uwzględniono we wszystkich modelach, lecz pominięto je w tabeli ze względu na zwięzłość prezentacji.

Źródło: obliczenia i opracowanie własne

8.2 Heterogeniczność regionalna

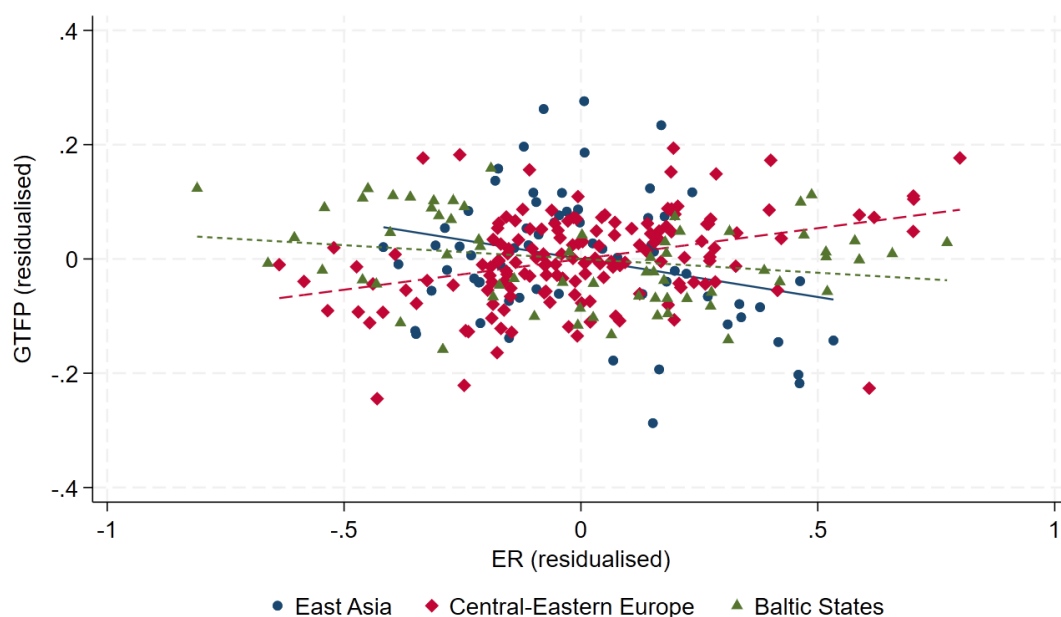
Modele z interakcjami regionalnymi wskazują na istotne zróżnicowanie skuteczności regulacji środowiskowych między analizowanymi grupami krajów, co stanowi empiryczne wsparcie dla hipotezy H3. Najważniejsze wyniki zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Główne wyniki według regionów

Region	Wynik
Europa Środkowo-Wschodnia	Najsilniejsza pozytywna relacja między regulacją środowiskową a GTFP wśród wszystkich grup regionalnych. Mechanizm nadrobienia zaległości ujawnia się najsilniej w gospodarkach przejściowych dostosowanych do ram środowiskowych UE, gdzie regulacja katalizuje zieloną modernizację.
Państwa bałtyckie — grupa odniesienia	Marginalnie istotna ujemna relacja, zgodna z malejącymi zwrotami krańcowymi w gospodarkach, które już ustanowiły dojrzałe ramy środowiskowe i są bliskie granicy efektywności regulacyjnej.
Azja Wschodnia	Punktowy efekt łączny jest ujemny ($-0,096$), jednak statystyczna nieistotność składnika interakcyjnego wymaga ostrożnej interpretacji tego wyniku ($p = 0,507$).

Źródło: opracowanie własne

Rysunek 2. Wykres punktowy w układzie regionalnym



Źródło: obliczenia i opracowanie własne

Chociaż wyniki bazowe wskazują na przeciętnie pozytywny efekt w całej próbie, skuteczność regulacji środowiskowych wyraźnie różni się między kontekstami instytucjonalnymi. Rysunek 2 przedstawia relację między regulacjami środowiskowymi a GTFP w podziale na regiony. Linie dopasowania wskazują na znaczną heterogeniczność między trzema analizowanymi grupami. Europa Środkowo-Wschodnia, oznaczona czerwonymi rombami, charakteryzuje się najbardziej stromym dodatnim nachyleniem, przy całkowitym efekcie równym 0,086. Oznacza to, że podatki środowiskowe przynoszą w tym regionie najsilniejsze przyrosty produktywności. W państwach bałtyckich relacja jest natomiast marginalnie istotna i ujemna, przy całkowitym efekcie równym -0,046. Azja Wschodnia wykazuje najniższy efekt całkowity, wynoszący -0,096, co oznacza ujemną różnicę względem bałtyckiej kategorii odniesienia.

Wzorce widoczne na wykresie znajdują formalne potwierdzenie w specyfikacji z interakcjami w modelu 4.4. Człon interakcyjny dla Europy Środkowo-Wschodniej jest wysoce istotny statystycznie, przy poziomie istotności $p < 0,001$, co wskazuje, że kraje tego regionu uzyskują najsilniejsze korzyści produktywnościowe z regulacji środowiskowych.

Wynik dla Europy Środkowo-Wschodniej jest spójny z hipotezą doganiania. W gospodarkach przechodzących zieloną modernizację pod wpływem presji akcesyjnej i poakcesyjnej Unii Europejskiej regulacje środowiskowe mogą skutecznie katalizować wdrażanie czystszych technologii oraz bardziej efektywnych procesów produkcyjnych. Bolibok et al. (2025) oraz Carmin i VanDeveer (2005) dostarczają instytucjonalnego kontekstu dla tej interpretacji, pokazując, że akcesja do Unii Europejskiej wytworzyła silną presję konwergencyjną, ukierunkowującą inwestycje na modernizację środowiskową.

Wynik dla Azji Wschodniej wymaga ostrożnej interpretacji. Człon interakcyjny dla tego regionu jest statystycznie nieistotny, przy $p = 0,507$, co oznacza, że wpływ regulacji środowiskowych w Azji Wschodniej nie różni się istotnie od efektu obserwowanego w bałtyckiej grupie odniesienia. Ujemny efekt całkowity może odzwierciedlać trudności wdrożeniowe wynikające ze zróżnicowanych systemów zarządzania, odmiennej jakości instytucjonalnej oraz heterogeniczności podejść regulacyjnych w Chinach, Japonii i Korei Południowej. Wyniki te wnoszą wkład do literatury dotyczącej kontekstu instytucjonalnego i skuteczności regulacji, wskazując, że mechanizm Portera nie działa jednakowo we wszystkich uwarunkowaniach instytucjonalnych.

8.3 Nieliniowość zależności

Specyfikacje kwadratowe dostarczają przesłanek wspierających hipotezę H2. Oszacowana relacja między regulacjami środowiskowymi a GTFP przyjmuje kształt litery U: współczynnik liniowy jest ujemny, natomiast współczynnik kwadratowy dodatni i statystycznie istotny w kilku specyfikacjach. Wynik ten dowodzi, że skuteczność regulacji wzrasta przy wyższych poziomach intensywności polityki środowiskowej, co oznacza, że efekt kompensacji innowacyjnej może zaczynać dominować dopiero po osiągnięciu odpowiedniego progu rygorystyczności regulacyjnej.

U-kształtny charakter zależności ma istotne implikacje dla polityki publicznej. Podważa obawy dotyczące malejących korzyści z zaostrzania polityki środowiskowej i wspiera argument na rzecz ambitnych celów regulacyjnych. Kraje znajdujące się na niskim lub umiarkowanym poziomie intensywności podatków środowiskowych mogą doświadczać krótkookresowych kosztów dostosowania, jednak wyniki sugerują, że konsekwentne utrzymywanie wyższej intensywności regulacyjnej może generować rosnące korzyści w postaci poprawy zielonej produktywności.

8.4 Efekty kanałów inwestycyjnych

Analiza dostarcza szerokiego wsparcia dla hipotezy H4 dotyczącej bezpośrednich inwestycji zagranicznych. W specyfikacjach bazowych, opóźnionych i dynamicznych BIZ wykazują neutralny zagregowany wpływ na GTFP. Jest to zgodne z założeniem, że korzystne środowiskowo efekty zielonych inwestycji mogą być na poziomie zagregowanym kompensowane przez negatywne skutki inwestycji wysokoemisyjnych. Istotny wyjątek pojawia się jednak w modelu z interakcjami regionalnymi, w którym współczynnik przy BIZ staje się statystycznie istotny i ujemny, wynosząc $\beta = -0,100$ przy $p < 0,05$. Sugeruje to, że po wyraźnym uwzględnieniu heterogeniczności regionalnej efekt inwestycji wysokoemisyjnych może przeważać nad pozytywnymi efektami transferu zielonych technologii. Wynik ten wskazuje, że dla zielonej produktywności większe znaczenie ma struktura BIZ niż sama ich skala, a polityki ukierunkowane na przyciąganie zielonych inwestycji zagranicznych mogą być skuteczniejsze niż ogólne działania promujące napływ kapitału.

Wsparcie uzyskuje również hipoteza H5, dotycząca efektów kapitału typu vintage. Opóźnione formowanie kapitału wywiera statystycznie istotny ujemny wpływ na GTFP, co jest zgodne z teorią kapitału typu vintage. Wcześniejsze inwestycje w aktywa wysokoemisyjne tworzą trwałe ograniczenia technologiczne i strukturalne, które obniżają bieżącą zieloną

produktywność. Struktura opóźnień wskazuje, że emisyjność wcześniejszych inwestycji może ograniczać GTFP przez kilka lat po ich dokonaniu. Wynik ten ma bezpośrednie znaczenie dla sekwencjonowania polityk zielonej transformacji, podkreślając wagę wczesnych działań zapobiegających kumulacji wysokoemisyjnego zasobu kapitału.

8.5 Trwałość czasowa

Dynamiczne specyfikacje panelowe dostarczają wsparcia dla hipotezy H6. Oszacowany współczynnik przy opóźnionej wartości GTFP jest dodatni i statystycznie istotny, co wskazuje na wyraźną trwałość czasową zielonej produktywności. Kraje osiągające wyższą GTFP w poprzednim okresie mają tendencję do utrzymywania wyższej GTFP również w okresie bieżącym. Odzwierciedla to znaczenie zakorzenionych technologii, uczenia się instytucjonalnego oraz skumulowanych zdolności zarządzania środowiskowego dla podtrzymywania poprawy produktywności.

Trwałość ta dostarcza empirycznego uzasadnienia dla utrzymywania długookresowych polityk środowiskowych, ponieważ korzyści z wczesnych inwestycji regulacyjnych mogą narastać w czasie poprzez zależności ścieżkowe sprzyjające wzrostowi produktywności.

9. Oryginalny wkład naukowy

Wkład naukowy niniejszej rozprawy koncentruje się wokół pięciu kluczowych wymiarów, z których każdy odnosi się do konkretnej luki badawczej zidentyfikowanej w sekcji 2:

W1. Pionierskie, systematyczne porównanie międzyregionalne wpływu stawek podatków środowiskowych na zieloną całkowitą produktywność czynników produkcji (GTFP) w Azji Wschodniej oraz Europie Środkowo-Wschodniej. Dzięki zastosowaniu stawek podatków środowiskowych jako jednolitej i porównywalnej w skali międzynarodowej miary rygorystyczności regulacji, badanie umożliwiło bezpośrednie zestawienie dwóch regionów, które dotychczas rzadko były poddawane wspólnej analizie w literaturze z zakresu ekonomii środowiska.

W2. Dostarczenie solidnych dowodów empirycznych potwierdzających Hipotezę Portera na poziomie makroekonomicznym w zróżnicowanym panelu 28 krajów. Uzyskane wyniki rozszerzają bazę dowodową dla mechanizmu kompensacji innowacyjnej (ang. *innovation compensation mechanism*) poza badania na poziomie przedsiębiorstw i sektorów, przenosząc ją na poziom zagregowanej gospodarki narodowej. Wykazano tym samym, że mechanizm Portera funkcjonuje w skali makro, o ile zaistnieją sprzyjające warunki instytucjonalne.

W3. Identyfikacja i wyjaśnienie regionalnej heterogeniczności w zakresie skuteczności regulacyjnej. Badanie dowodzi, że Hipoteza Portera znajduje najsilniejsze potwierdzenie w gospodarkach transformujących się Europy Środkowo-Wschodniej, gdzie regulacje środowiskowe katalizują procesy modernizacji nadrabiającej (*catch-up modernization*). Z kolei gospodarki Azji Wschodniej wykazują ujemne, lecz nieistotne statystycznie efekty różnicowe, co wymaga ostrożnej interpretacji. Wynik ten pogłębia wiedzę na temat uwarunkowań instytucjonalnych i rozwojowych, w których regulacje promują zieloną produktywność, oraz wskazuje na konieczność dalszych badań nad skutecznością regulacji w Azji Wschodniej ze względu na zróżnicowane systemy zarządzania w Chinach, Japonii i Korei Południowej.

W5. Dostarczenie dowodów panelowych w skali międzynarodowej dla teorii roczników kapitału (*vintage capital theory*). Wykazanie opóźnionych, negatywnych efektów formowania kapitału w zróżnicowanym panelu międzynarodowym stanowi szersze oparcie empiryczne dla mechanizmu roczników kapitału niż dotychczasowe studia przypadków pojedynczych krajów lub sektorów. Ma to bezpośrednie znaczenie dla planowania harmonogramu polityk w ramach zielonej transformacji.

W 6. Empiryczne poparcie dla ambitnych celów polityki środowiskowej poprzez identyfikację nieliniowej zależności między regulacjami a produktywnością w kształcie litery U. Stwierdzenie, że skuteczność regulacyjna wzrasta wraz z wyższym poziomem intensywności podejmowanych działań, wnosi nowe argumenty do debaty nad optymalną rygorystycznością polityki środowiskowej i podważa założenie o występowaniu malejących przychodów z intensyfikacji działań regulacyjnych.

Podsumowując, przedstawiony wkład naukowy wzbogaca literaturę z zakresu ekonomii środowiska zarówno w wymiarze empirycznym, jak i metodologicznym. W ujęciu empirycznym badanie wypełnia lukę komparatywną dotyczącą Azji Wschodniej i Europy Środkowo-Wschodniej oraz dostarcza nowych dowodów na temat uwarunkowań, w których regulacje środowiskowe sprzyjają wzrostowi zielonej produktywności. W ujęciu metodologicznym praca wykazuje wartość stawek podatków środowiskowych jako miary polityki porównywalnej w skali międzyregionalnej oraz wskazuje na znaczenie wielowariantowych strategii empirycznych (opartych na wielu specyfikacjach modeli) w procesie identyfikacji heterogenicznych i nieliniowych efektów regulacyjnych.

10. Wnioski

Niniejsza rozprawa miała na celu zbadanie wpływu przyczynowego regulacji środowiskowych na zieloną całkowitą produktywność czynników produkcji (GTFP) w krajach Azji Wschodniej oraz Europy Środkowo-Wschodniej, przy wykorzystaniu dwuetapowego modelu metodologicznego łączącego pomiar produktywności metodą DEA-Malmquist z panelowymi modelami ekonometrycznymi. Wnioski sformułowane na podstawie analizy empirycznej stanowią odpowiedź na każde z pięciu pytań badawczych i potwierdzają większość postawionych hipotez teoretycznych.

W odpowiedzi na **pytanie badawcze nr 1 (RQ1)** wykazano, że indeks Malmquista oparty na metodzie DEA (Data Envelopment Analysis), rozszerzony o kierunkową funkcję dystansu, stanowi skuteczną i powtarzalną metodologię pomiaru GTFP w zróżnicowanych kontekstach regionalnych. Szacunki produktywności uzyskane dla panelu 28 krajów ujawniają istotną międzyregionalną heterogeniczność zarówno w zakresie poziomu, jak i trajektorii zielonej produktywności, co tworzy bogatą bazę empiryczną dla dalszych analiz regresji.

W odpowiedzi na **pytanie badawcze nr 2 (RQ2)** bazowe wyniki ekonometryczne dostarczają solidnego potwierdzenia dla Hipotezy Portera. Regulacje środowiskowe, mierzone stawkami podatków środowiskowych, wywierają statystycznie istotny, pozytywny wpływ na GTFP na poziomie zagregowanym dla całego panelu badawczego. Wynik ten pozostaje stabilny w modelach efektów ustalonych, dynamicznych modelach panelowych oraz w licznych specyfikacjach testów odporności (*robustness checks*), co pozwala z większą pewnością niż we wcześniejszych badaniach przekrojowych wskazać na kierunek przyczynowości biegnący od regulacji ku produktywności.

W odpowiedzi na **pytanie badawcze nr 3 (RQ3)** analiza heterogeniczności regionalnej wskazuje, że skuteczność regulacyjna zależy w dużej mierze od kontekstu instytucjonalnego. Kraje Europy Środkowo-Wschodniej, funkcjonujące w ramach unijnych ram regulacyjnych ochrony środowiska i znajdujące się na etapie zielonej modernizacji o wysokim potencjale nadrobienia (*catch-up potential*), wykazują najsilniejszy pozytywny efekt regulacyjny. Państwa bałtyckie, stanowiące dojrzałą grupę referencyjną, wykazują nieznacznie ujemne efekty, co jest zgodne z teorią malejących przychodów krańcowych. Z kolei gospodarki Azji Wschodniej, charakteryzujące się odmienną architekturą regulacyjną i różnymi etapami rozwoju przemysłowego, wykazują ujemne, lecz nieistotne statystycznie różnice efektów w stosunku do bazy odniesienia (państw bałtyckich). Sugeruje to, że skuteczność polityki w tym regionie wymaga dalszych badań, biorąc pod uwagę zróżnicowane systemy zarządzania.

Wyniki te potwierdzają, że mechanizm Portera jest uwarunkowany instytucjonalnie, a nie ma charakteru uniwersalnego.

W odpowiedzi na **pytanie badawcze nr 4 (RQ4)** analiza dowodzi, że bezpośrednie inwestycje zagraniczne (BIZ) wywierają neutralny wpływ zagregowany na GTFP w specyfikacjach bazowych i dynamicznych, co sugeruje, że napływ inwestycji „zielonych” i „brązowych” jest na poziomie zagregowanym w przybliżeniu zrównoważony. Niemniej jednak wpływ BIZ staje się istotnie negatywny przy jawnym uwzględnieniu heterogeniczności regionalnej, co wskazuje na wrażliwość tej równowagi na kontekst lokalny. Nakłady na środki trwałe wykazują istotny, opóźniony negatywny wpływ, co jest zgodne z teorią roczników kapitału (*vintage capital theory*). Dowodzi to, że emisyjność inwestycji z przeszłości ogranicza obecną zieloną produktywność poprzez zjawisko trwałego technologicznego uwięzienia (*technological lock-in*).

W odpowiedzi na **pytanie badawcze nr 5 (RQ5)** dynamiczne specyfikacje panelowe potwierdzają występowanie istotnej trwałości czasowej zielonej produktywności. Trwałość ta implikuje, że wczesne nakłady regulacyjne generują z czasem skumulowane korzyści dzięki wdrożonym technologiom i procesom uczenia się instytucji. Stanowi to silne uzasadnienie dla długoterminowego zaangażowania w ambitne cele polityki środowiskowej, zamiast doraźnego korygowania intensywności regulacji w odpowiedzi na koszty przestrzegania przepisów. Nadrzędnym wnioskiem płynącym z badania jest stwierdzenie, że podatki środowiskowe pełnią funkcję instrumentu stymulującego produktywność, jednak charakter i skala ich oddziaływania zależą fundamentalnie od instytucjonalnego i rozwojowego stopnia zaawansowania danego kraju. W przypadku gospodarek transformujących się Europy Środkowo-Wschodniej regulacje środowiskowe stanowią katalizator zielonej modernizacji. Dla gospodarek, które osiągnęły już dojrzałość regulacyjną lub opierają się w dużej mierze na instrumentach alternatywnych, dynamika ta jest bardziej złożona, a kluczowego znaczenia nabiera projektowanie polityk komplementarnych.

Podsumowując wyniki analizy empirycznej, należy odnieść je do sześciu hipotez badawczych sformułowanych na podstawie przyjętych ram teoretycznych oraz luk zidentyfikowanych w przeglądzie literatury. Ich weryfikacja została przeprowadzona w ramach dwuetapowej procedury metodologicznej, obejmującej pomiar GTFP z wykorzystaniem indeksu DEA-Malmquista oraz analizę ekonometryczną danych panelowych. Tabela 2 syntetyzuje wyniki tej weryfikacji, zestawiając treść poszczególnych hipotez z głównymi rezultatami empirycznymi uzyskanymi w rozdziale 4 rozprawy.

Tabela 4. Weryfikacja hipotez badawczych w świetle wyników empirycznych

Pytanie badawcze	Hipoteza	Wynik empiryczny	Ocena
PB1: W jaki sposób można skutecznie mierzyć zieloną całkowitą produktywność czynników produkcji w zróżnicowanych kontekstach regionalnych?	(Brak bezpośredniej hipotezy) Metodologiczna podstawa dla całej dalszej analizy.	Indeks DEA-Malmquist z rozszerzeniem o kierunkową funkcję odległości skutecznie mierzy GTFP dla 28 krajów w latach 2000–2021. Szacunki ujawniają znaczną heterogeniczność GTFP między regionami pod względem poziomu i trajektorii, stanowiąc empiryczną podstawę całej analizy regresyjnej.	Cel osiągnięty
PB2: Jaka jest empirycznie identyfikowana zależność między regulacjami środowiskowymi a zieloną całkowitą produktywnością czynników produkcji w różnych kontekstach instytucjonalnych?	H1: Regulacje środowiskowe wpływają pozytywnie na zieloną całkowitą produktywność czynników produkcji (GTFP), co jest zgodne z hipotezą Portera.	Bazowy model FE: $\beta = 0,042^{**}$ ($p < 0,05$) Specyfikacja z opóźnienia: $\beta = 0,036^{*}$ ($p < 0,1$), potwierdzająca pierwszeństwo czasowe. Wynik odporny na konwencjonalne, odporne na heteroskedastyczność i grupowane błędy standardowe. $R^2 = 0,90$, $n = 616$.	H1 Potwierdzona
PB2 (cd. — kształt zależności)	H2: Relacja między regulacjami środowiskowymi	Specyfikacja kwadratowa: człon liniowy $\beta_1 = -0,008$ (n.i.), człon kwadratowy $\beta_2 = +0,016^{*}$	H2 Potwierdzona

Pytanie badawcze	Hipoteza	Wynik empiryczny	Ocena
	a GTFP ma charakter nieliniowy, a skuteczność regulacji wzrasta po przekroczeniu określonego poziomu intensywności polityki środowiskowej.	($p < 0,1$). Wzorzec w kształcie U: koszty przestrzegania dominują przy niskiej intensywności; efekt kompensacji innowacyjnej aktywuje się po przekroczeniu progu.	
PB3: W jaki sposób skuteczność regulacji środowiskowych różni się między Azją Wschodnią a Europą Środkowo-Wschodnią?	H3: Skuteczność regulacji środowiskowych wykazuje zróżnicowanie regionalne.	Całkowity efekt EŚW: +0,086; $EŚW \times RS = 0,132^{***}$ ($p < 0,001$). Państwa Bałtyckie (punkt odniesienia): -0,046. Całkowity efekt Azji Wschodniej: -0,096, ale interakcja nieistotna ($p = 0,507$). Mechanizm Portera najsilniejszy w gospodarkach transformacyjnych EŚW dostosowanych do ram środowiskowych UE. Wynik dla Azji Wschodniej wymaga ostrożnej interpretacji ze względu na brak istotności statystycznej.	H3 Potwierdzona

Pytanie badawcze	Hipoteza	Wynik empiryczny	Ocena
PB4: Jaką rolę w kształtowaniu zielonej produktywności odgrywają bezpośrednie inwestycje zagraniczne oraz formowanie kapitału?	H4: Zagregowany wpływ BIZ na GTFP jest neutralny, ponieważ pozytywne efekty inwestycji zielonych mogą być kompensowane przez negatywne efekty inwestycji emisyjnych.	BIZ neutralne w modelach bazowym, z opóźnieniami i dynamicznym GMM. Wyjątek: $\beta = -0,100^{**}$ w modelu interakcji regionalnych, co sugeruje dominację efektu brązowych inwestycji przy kontrolowaniu heterogeniczności. Neutralność zagregowana w szerokim zakresie potwierdzona.	H4 Szeroko potwierdzona
PB4 (cd.)	H5: Formowanie kapitału oddziałuje negatywnie na GTFP z opóźnieniem, ponieważ wcześniejsze inwestycje wysokoemisyjne utrwalają ograniczenia technologiczne i infrastrukturalne.	Opóźniony współczynnik NBSTT istotnie ujemny w wielu specyfikacjach. Przeszłe inwestycje intensywne węglowo tworzą trwałe technologiczne ograniczenia lock-in dla bieżącej zielonej produktywności przez wiele okresów. Efekt obejmuje wiele okresów opóźnień, podkreślając długookresowy charakter ograniczeń wynikających z przestarzałego kapitału.	H5 Potwierdzona

Pytanie badawcze	Hipoteza	Wynik empiryczny	Ocena
PB5: Na ile trwałe są zmiany zielonej produktywności i jakie czynniki kształtują ich dynamikę w czasie?	H6: GTFP wykazuje trwałość czasową poprzez utrwalone technologie i uczenie się instytucjonalne.	Model dynamiczny: opóźniony współczynnik GTFP = 0,832*** ($p < 0,001$), $R^2 = 0,975$. 83% przeszłej wartości GTFP przenoszone jest na bieżący okres. Silna zależność od ścieżki uzasadnia ciągłe, długoterminowe zobowiązania regulacyjne w miejsce impulsowych interwencji politycznych.	H6 Potwierdzona

Źródło: opracowanie własne.

*Uwaga: *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$, * $p < 0,1$. FE = efekty stałe; GMM = uogólniona metoda momentów; NBSTT = nakłady brutto na środki trwałe; EŚW = Europa Środkowo-Wschodnia; GTFP = zielona całkowita produktywność czynników produkcji; n.i. = nieistotny statystycznie*

11. Ograniczenia i kierunki dalszych badań

11.1 Ograniczenia

Zakres sformułowanych wniosków jest ograniczony przez cztery główne czynniki. Po pierwsze, ramy czasowe analizy panelowej (lata 2000–2021) obejmują okres poprzedzający wdrożenie najbardziej ambitnych, poparyskich inicjatyw regulacyjnych w obu regionach, takich jak ogólnokrajowy rynek uprawnień do emisji dwutlenku węgla w Chinach czy unijny pakiet „Fit for 55” (Gotowi na 55). Dynamika produktywności w warunkach tak zintensyfikowanych reżimów regulacyjnych pozostaje otwartą kwestią empiryczną.

Po drugie, zakres analizy Azji Wschodniej – ze względu na bariery w dostępności danych – został ograniczony do Chin, Japonii oraz Korei Południowej. Wyłączenie z badania Wietnamu, Indonezji oraz innych gospodarek uprzemysławiających się zawęża możliwość generalizacji wyników regionalnych na szerszy kontekst Azji Wschodniej.

Po trzecie, udziały wpływów z podatków środowiskowych w PKB, choć stanowią miarę bezpośrednio porównywalną i łatwą do zinterpretowania w różnych jurysdykcjach, odzwierciedlają tylko jeden wymiar wieloaspektowego otoczenia regulacyjnego. Instrumenty typu nakazowo-rozdzielczego (*command-and-control*) oraz systemy handlu uprawnieniami do emisji, które dominują w chińskim miksie regulacyjnym, nie znalazły odzwierciedlenia w tej mierze, co może częściowo tłumaczyć wyniki uzyskane dla regionu Azji Wschodniej.

Po czwarte, szacunki produktywności uzyskane metodą DEA-Malmquist wykazują wrażliwość na dobór nakładów i efektów (*inputs/outputs*) uwzględnionych w procesie wyznaczania granicy efektywności. Zaobserwowany w większości specyfikacji dodatni współczynnik energochłonności wymaga dalszych analiz i może wynikać ze specyficznych cech strukturalnych badanej próby, które nie zostały w pełni uchwycone w bieżącej specyfikacji modelu.

11.2 Kierunki przyszłych badań

Z powyższych ograniczeń oraz uzyskanych wyników wynikają bezpośrednio cztery kierunki dalszych prac badawczych:

1. **Rozszerzenie zakresu czasowego panelu poza rok 2021 oraz włączenie do analizy gospodarek Azji Południowo-Wschodniej.** Pozwoliłoby to zweryfikować, czy zidentyfikowana dynamika utrzymuje się w warunkach bardziej ambitnych reżimów regulacyjnych oraz w ramach próby o większym zróżnicowaniu instytucjonalnym.

2. **Opracowanie złożonego indeksu rygorystyczności regulacyjnej.** Połączenie w jednej mierze stawek podatków środowiskowych, zasięgu systemów handlu emisjami oraz wydatków na zapewnienie zgodności (*compliance expenditure*) pozwoliłoby wyeliminować ograniczenia wynikające z analizy pojedynczego instrumentu. Jest to szczególnie istotne w kontekście krajów Azji Wschodniej, gdzie miary oparte wyłącznie na podatkach mogą nie odzwierciedlać w pełni faktycznej presji regulacyjnej.
3. **Dezagregacja bezpośrednich inwestycji zagranicznych (BIZ) według ich charakterystyki środowiskowej.** Takie podejście umożliwiłoby sprawdzenie, czy przepływy inwestycji „zielonych” i „brązowych” wywierają przeciwstawne efekty, które znoszą się na poziomie zagregowanym. Dostarczyłoby to precyzyjniejszych wytycznych dla kształtowania polityki inwestycyjnej wspierającej zieloną transformację.

Zastosowanie regresji progowej (*threshold regression*) oraz metod quasi-eksperymentalnych. Pozwoliłoby to na precyzyjną identyfikację punktów zwrotnych w relacji między regulacjami a produktywnością oraz na przetestowanie, czy zależność w kształcie litery U utrzymuje się na różnych etapach rozwoju gospodarczego i w odmiennych uwarunkowaniach instytucjonalnych.

Wykaz literatury

- Albrizio, S., Kozluk, T., & Zipperer, V. (2017). Environmental policies and productivity growth: Evidence across industries and firms. *Journal of Environmental Economics and Management*, 81, 209–226. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2016.06.002>
- Bolibok, P. M., Zinczuk, B., & Matras-Bolibok, A. (2025). Sustainability transition in the Visegrád Group: Shared goals, different paths. *Sustainability*, 17(5), Article 1951. <https://doi.org/10.3390/su17051951>
- Börzel, T. A., & Buzogány, A. (2019). Compliance with EU environmental law: The iceberg is melting. *Environmental Politics*, 28(2), 315–341. <https://doi.org/10.1080/09644016.2019.1549772>
- Boucekkine, R., Germain, M., & Licandro, O. (1997). Replacement echoes in the vintage capital growth model. *Journal of Economic Theory*, 74(2), 333–348. <https://doi.org/10.1006/jeth.1996.2265>
- Carmin, J., & VanDeveer, S. D. (Eds.). (2005). *EU enlargement and the environment: Institutional change and environmental policy in Central and Eastern Europe*. Routledge.

- Du, K., Cheng, Y., & Yao, X. (2021). Environmental regulation, green technology innovation, and industrial structure upgrading: The road to the green transformation of Chinese cities. *Energy Economics*, 98, 105247. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105247>
- IEA, IRENA, UNSD, World Bank, & WHO. (2024). *Tracking SDG 7: The Energy Progress Report 2024*. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/tracking-sdg7-the-energy-progress-report-2024>
- Jaffe, A. B., Newell, R. G., & Stavins, R. N. (2003). Technological change and the environment. In *Handbook of environmental economics* (Vol. 1, pp. 461–516). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1574-0099\(03\)01016-7](https://doi.org/10.1016/S1574-0099(03)01016-7)
- Kiuila, O. (2018). Decarbonisation perspectives for the Polish economy. *Energy Policy*, 118, 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.03.037>
- Li, B., & Wu, S. (2017). Effects of local and civil environmental regulation on green total factor productivity in China: A spatial Durbin econometric analysis. *Journal of Cleaner Production*, 153, 342–353. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.042>
- Li, Y., & Li, S. (2021). The influence study on environmental regulation and green total factor productivity of China's manufacturing industry. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2021, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2021/5580414>
- Lin, E. Y. Y., Chen, P. Y., & Chen, C. C. (2013). Measuring green productivity of country: A generalised metafrontier Malmquist productivity index approach. *Energy*, 55, 340–353. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.055>
- Linda, C. (2020). *The International Energy Outlook*. Energy Information Administration. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>
- Liu, Z., & Xin, L. (2019). Has China's Belt and Road Initiative promoted its green total factor productivity? Evidence from primary provinces along the route. *Energy Policy*, 129, 360–369. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.02.045>
- Lu, P., Wen, Y., Li, Z., Ding, Y., Chen, X., & Han, L. (2023). The impacts of environmental regulation on regional green productivity growth in China: From the perspective of local-neighborhood effects. *Economic Research—Ekonomika Istraživanja*, 36(1), 2120902. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2022.2120902>
- Mackerras, C. (2008). *Modern East Asia: An introductory history*. <http://www.jstor.org/stable/40377635>
- Mol, A. P., & Spaargaren, G. (2000). Ecological modernisation theory in debate: A review. *Environmental Politics*, 9(1), 17–49. <https://doi.org/10.1080/09644010008414511>
- Peng, J., Xie, R., Ma, C., & Fu, Y. (2021). Market-based environmental regulation and total factor productivity: Evidence from Chinese enterprises. *Economic Modelling*, 95, 394–407. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2020.03.006>
- Porter, M. E., & Van der Linde, C. (1995). Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 97–118. <https://doi.org/10.1257/jep.9.4.97>

- Qian, Y., Liu, J., Cheng, Z., & Forrest, J. Y. L. (2021). Does the smart city policy promote the green growth of the urban economy? Evidence from China. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 66709–66723. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15120-w>
- Ray, S. C., & Desli, E. (1997). Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries: Comment. *The American Economic Review*, 87(5), 1033–1039. <https://www.jstor.org/stable/2951340>
- Shen, L., Fan, R., Wang, Y., Yu, Z., & Tang, R. (2020). Impacts of environmental regulation on the green transformation and upgrading of manufacturing enterprises. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(20), 7680. <https://doi.org/10.3390/ijerph17207680>
- Solow, R. M. (1960). Investment and technical progress. *Mathematical Methods in the Social Sciences*, 1(10), 48–93.
- Stępień, S., Czyżewski, B., Sapa, A., Borychowski, M., Poczta, W., & Poczta-Wajda, A. (2021). Eco-efficiency of small-scale farming in Poland and its institutional drivers. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123721. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123721>
- Stern, N. H. (2007). *The economics of climate change: The Stern review*. Cambridge University Press.
- Tang, K., Qiu, Y., & Zhou, D. (2020). Does command-and-control regulation promote green innovation performance? Evidence from China's industrial enterprises. *Science of the Total Environment*, 712, 136362. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136362>
- Tuttle, T., & Heap, J. (2007). Green productivity: Moving the agenda. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 57(1), 93–106. <https://doi.org/10.1108/17410400810841254>
- Unruh, G. C. (2000). Understanding carbon lock-in. *Energy Policy*, 28(12), 817–830. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00070-7](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00070-7)
- Wang, Y., & Shen, N. (2016). Environmental regulation and environmental productivity: The case of China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 758–766. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.048>
- Wang, Y., Li, Y., Zhu, Z., & Dong, J. (2021). Evaluation of green growth efficiency of oil and gas resource-based cities in China. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23, 1785–1795. <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02060-9>
- Xie, R. H., Yuan, Y. J., & Huang, J. J. (2017). Different types of environmental regulations and heterogeneous influence on "green" productivity: Evidence from China. *Ecological Economics*, 132, 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.10.019>
- Yuan, J., & Zhang, D. (2021). Research on the impact of environmental regulations on industrial green total factor productivity: Perspectives on the changes in the allocation ratio of factors among different industries. *Sustainability*, 13(23). <https://doi.org/10.3390/su132312947>
- Zhai, X. Q., Xue, R., He, B., Yang, D., Pei, X. Y., Li, X., & Shan, Y. (2022). Dynamic changes and convergence of China's regional green productivity: A dynamic spatial econometric

- analysis. *Advances in Climate Change Research*, 13(2), 266–278.
<https://doi.org/10.1016/j.accre.2022.01.004>
- Zhang, C., Liu, H., Bressers, H. T. A., & Buchanan, K. S. (2011). Productivity growth and environmental regulations — accounting for undesirable outputs: Analysis of China's thirty provincial regions using the Malmquist–Luenberger index. *Ecological Economics*, 70(12), 2369–2379.
- Zhang, N., & Jiang, X.-F. (2019). The effect of environmental policy on Chinese firm's green productivity and shadow price: A metafrontier input distance function approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 144, 129–136.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.04.015>
- Zheng, H., Wu, S., Zhang, Y., & He, Y. (2023). Environmental regulation effect on green total factor productivity in the Yangtze River Economic Belt. *Journal of Environmental Management*, 325, 116465. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116382>
- Zhou, P., & Ang, B. W. (2008). Linear programming models for measuring economy-wide energy efficiency performance. *Energy Policy*, 36(8), 2911–2916.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.03.041>
- Zhou, P., Delmas, M. A., & Kohli, A. (2017). Constructing meaningful environmental indices: A nonparametric frontier approach. *Journal of Environmental Economics and Management*, 85, 21–34. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2017.04.003>
- Żylicz, T. (2014). *The economics of international environmental cooperation*. Peter Lang.